



Estudio

**Valoración económica y ambiental de la reserva
forestal Imataca, estado Bolívar
República Bolivariana de Venezuela**



Valoración Ambiental y Económica de la Reserva Forestal Imataca



Determinación del valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca

Prefacio

El Ministerio de Ecosocialismo, MINEC, en la República Bolivariana de Venezuela ha recibido un financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) ejecutado a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y su representación en Venezuela, para la implementación del proyecto GCP/VEN/011/GFF - Ordenación forestal sustentable y conservación de bosques bajo la perspectiva ecosocial, en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela.

El proyecto busca integrar la conservación de la biodiversidad, el manejo sostenible de la tierra y la mitigación del cambio climático en el sector forestal para lograr un manejo forestal sostenible a través de la innovación en el manejo de información, incentivos, gobernanza participativa, empoderamiento de las comunidades dependientes de los bosques y mecanismos múltiples para la recuperación de áreas boscosas bajo procesos de degradación en ecosistemas forestales representativos de Venezuela.

El proyecto consta de los siguientes componentes:

- Componente 1: Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF).
- Componente 2: Fortalecimiento de capacidades e instrumentos innovadores para el Manejo Forestal Sostenible.
- Componente 3: Restauración, conservación y MFS/MST de bosques en zonas afectadas por procesos de degradación.
- Componente 4: M&E del proyecto y diseminación de información.

Los resultados esperados del componente 1 son:

- Resultado 1.1: Mejora de la capacidad de evaluación y monitoreo forestal nacional, en el marco del Inventario Nacional Forestal (INF).
- Resultado 1.2: Mejora del estado del conocimiento y valoración de la biodiversidad asociada a los bosques y áreas críticas de carbono, como estrategia a integrar en el manejo forestal mejorado a nivel de las unidades de manejo, mediante el desarrollo e inclusión de medidas de conservación de la biodiversidad forestal aplicadas en los planes de manejo forestal. Uno

de los productos del resultado 1.2 corresponde al 1.2.3 que indica la conformación de una base de datos de bienes y productos de la biodiversidad y ecosistemas foresta, incluyendo productos maderables y no maderables y su uso múltiple por comunidades locales.

En el marco de la base de datos se parte de la línea base 2015 referido a que existe:

- Información dispersa sobre uso de las especies y etnobotánica;
- Sistemas de clasificación del bosque como generador de productos y servicios;
- Técnicas de valoración económica de los servicios del bosque o ecosistemas, etc.
- Y de que no hay i) un consenso de clasificación de productos, bienes y servicios; ii) Una base de datos sistematizada de estos aspectos.

Los objetivos específicos son:

1. Determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.
2. Realizar la valoración ambiental y económica de los impactos de un proyecto de conservación específico formulado para la RFI o en su defecto los lineamientos para realizar dicha valoración.
3. Formular un procedimiento para valorar los daños ambientales actuales de la RFI.
4. Capacitar y sensibilizar a funcionarios de instituciones y entes relacionados con los objetivos 1, 2 y 3 de la consultoría.

En orden de cumplir con los objetivos arriba mencionados, a continuación, se presenta el desarrollo del objetivo 1.

Índice

Determinación del valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.

Prefacio

Acrónimos y Abreviaturas

Resumen Ejecutivo

Capítulo 1. Introducción y Objetivos

Capítulo 2. Delimitación y caracterización general de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 3. Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 4. Identificación y clasificación de actores involucrados con los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 5. Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente

Capítulo 6. Identificación, clasificación, descripción general y selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados

Capítulo 7. Valoración Económica del Servicio Ecosistémico Madera de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 8. Valoración ambiental y económica de los productos forestales no madereros prospectivos de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 9. Valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos rendimiento hídrico y regulación de los flujos de aguas en la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 10. Valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la RFI

Capítulo 11. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico control de la erosión del suelo y sedimentación en la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 12. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico
Mantenimiento de la Calidad del Agua de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 13. Valoración ambiental y económica de la Conservación de la
Biodiversidad en la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 14. Valoración económica de los Servicios Ecosistémicos Culturales de
la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 1. Introducción y objetivos

Índice de Contenido

1. Introducción

Capítulo 2. Delimitación y caracterización general de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

1. Introducción
2. Delimitación y caracterización físico – natural de la Reserva Forestal Imataca
 - 2.1. Ubicación del área de estudio
 - 2.2. Clima
 - 2.2.1. Precipitación
 - 2.2.2. Temperatura
 - 2.2.3. Evaporación
 - 2.3. Hidrología
 - 2.3.1. Cuencas
 - 2.3.2. Gastos Medidos
 - 2.4. Geología
 - 2.5. Geomorfología
 - 2.6. Suelos
 - 2.7. Cobertura y uso de la tierra
 - 2.8. Sistemas ecológicos

3. Caracterización Social de la Reserva Forestal Imataca
 - 3.1. Aspectos demográficos
 - 3.1.1. Estructura de la población
 - 3.1.2. Estructura de la población indígena
 - 3.1.3. Dinámica de la población
 - 3.2. Aspectos económicos
 - 3.3. Aspectos Físico - Espaciales
 - 3.4. Bienes y servicios ecosistémicos de los recursos naturales
 - 3.5. Infraestructura de servicios públicos
 - 3.5.1. Recolección y disposición final de residuos y desechos
 - 3.5.2. Sistema de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales
4. Bibliografía
 - Anexo 2.1. Cambios en la cobertura y uso de la tierra
 - Anexo 2.2. Conflictos de uso de la tierra

Índice de Tablas

- | | |
|------------|--|
| Tabla 2.1. | Cuencas hidrográficas y superficie asociada |
| Tabla 2.2. | División Político-Territorial de la Reserva Forestal Imataca. |
| Tabla 2.3. | Población total y densidad del estado Bolívar en el período 1961 - 2011 |
| Tabla 2.4. | Población total y densidad del estado Delta Amacuro en el período 1961 -2011 |
| Tabla 2.5. | Población por municipios y parroquias del estado Bolívar en la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 2.6. | Población por municipios y parroquias del estado Delta Amacuro en la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 2.7. | Estructura de la población, según grupo de edad y sexo de los municipios en la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 2.8. | Densidades de población y superficie por municipios y parroquias del estado Bolívar en la Reserva Forestal Imataca |

Tabla 2.9.	Densidades de población y superficie por municipios y parroquias del estado Delta Amacuro en la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 2.10.	Población urbana y rural por municipios en la Reserva Forestal Imataca
Tabla 2.11.	Nivel educativo por municipios de la Reserva Forestal Imataca
Tabla 2.12.	Población indígena distribuidas por entidades en Venezuela
Tabla 2.13.	Población indígena distribuidas por municipios por municipios de la Reserva Forestal Imataca, para el año 2011
Tabla 2.14.	Población indígena según distribución urbano- rural en la Reserva Forestal Imataca, para el año 2011
Tabla 2.15.	Morbilidad por enfermedades en el estado Bolívar
Tabla 2.16.	Morbilidad por enfermedades en el estado Delta Amacuro
Tabla 2.17.	Coeficiente de poblamiento en los municipios de interés para los años intercensales 2001 – 2011.
Tabla 2.18.	Principales centros poblados de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Figuras

Figura 2.1.	Ubicación geográfica de la Reserva Forestal Imataca (RFI) a nivel nacional
Figura 2.2.	División político territorial en la RFI a nivel nacional
Figura 2.3.	Isoyetas de Precipitación media mensual para la RFI, con base en diferentes períodos de interés. (a) Precipitación Asíncrona. (b) Período 1971-2000. (c). Período 1968-1983. (d) Período 1977-1982
Figura 2.4.	Hietogramas mensuales de precipitación media para diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI
Figura 2.5.	Distribución Espacio-temporal de la Temperatura para estaciones cercanas y dentro de la RFI. Años 1971 al 1999
Figura 2.6.	Isopletas medias anuales para la RFI. (a) Tendencia espacial con base en datos históricos asíncronos (b) Promedio para el periodo 1977-1982. Coincidente con el de medición hidrológica (c) Período común para 4 estaciones de la zona
Figura 2.7.	Distribución temporal de la evaporación media mensual, en diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI. Período 1971-1980

Figura 2.8.	Déficit Hídrico en la RFI
Figura 2.9.	Mesoclimas en la RFI
Figura 2.10.	Cuencas hidrográficas y superficie asociada
Figura 2.11.	Curvas de Duración de Caudales (CDC) y Gastos medios mensuales para Estaciones Hidrométricas de Interés en la RFI. (a) Estación Rio Grande, área 721 km ² (b) Yuruari en El Callao área 9 704 km ² , (c) Cuyuní en el Dorado, área 21 000 km ² .
Figura 2.12.	Unidades litológicas de la RFI
Figura 2.13.	Rangos altitudinales
Figura 2.14.	Rangos de pendiente
Figura 2.15.	Posiciones geomorfológicas de la RFI
Figura 2.16.	Órdenes del suelo
Figura 2.17.	Cobertura y uso de la tierra. Año 2018
Figura 2.18	División Político-Territorial de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido – Anexo 2.1. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

1. Cobertura y uso de la tierra. Año 2000
2. Cobertura y uso de la tierra. Año 2018
3. Cambio en la cobertura y uso de la tierra. Años 2000-2018

Índice de Tablas – Anexo 2.1. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

Tabla 1.	Cobertura y uso de la tierra de la RFI. Año 2000
Tabla 2.	Cobertura y uso de la tierra de la RFI. Año 2018
Tabla 3.	Cambio de cobertura y uso en la RFI. Años 2000 y 2018

Índice de Figuras – Anexo 2.1. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

Figura 1.	Puntos de minería, ventanas de observación de la actividad minera y agrícola en la RFI
Figura 2.	Cobertura y uso de la tierra. Año 2000

- Figura 3. Cobertura y uso de la tierra. Año 2018
- Figura 4. Líneas tendenciales hasta el año 2030 de la disminución del bosque (a) y del aumento de los usos forestal (b), minero (c) y agrícola (d) como ejemplos de cambios en la RFI
- Figura 5. Distribución espacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra
- Figura 6. Cambios de cobertura y uso de la tierra (km²) en la RFI Años 2000 – 2018

Índice de Contenido – Anexo 2.2. Conflictos de uso de la tierra

- 1. Unidades de ordenamiento de la RFI
- 2. Conflictos de uso de la tierra
 - 2.1. El uso forestal
 - 2.2. El uso minero
 - 2.3. El uso agrícola y pecuario
 - 2.4. Integración de los conflictos de uso
- 3. Bibliografía

Índice de Tablas – Anexo 2.2. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

- Tabla 1. Breve descripción de las unidades de ordenamiento de la RFI
- Tabla 2. Porcentajes de superficie de los usos en conflicto

Índice de Figuras – Anexo 2.2. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

- Figura 1. Unidades de ordenamiento de la RFI.
- Figura 2. Distribución espacial del conflicto por el uso forestal en la RFI
- Figura 3. Distribución espacial del conflicto por el uso minero en la RFI
- Figura 4. Uso minero. Distribución espacial del conflicto en la RFI si se considera la delimitación de las zonas aprobadas para la ocupación del territorio (AOT)
- Figura 5. Distribución espacial del conflicto por uso agrícola en la RFI
- Figura 6. Distribución espacial del conflicto por uso pecuario en la RFI

Capítulo 3. Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

1. Servicios ecosistémicos y su clasificación
 - 1.1. Clasificación de los servicios ecosistémicos
2. Valor Económico total, VET, y su división
 - 2.1. Clasificación de los distintos tipos de valores de los servicios ecosistémicos
3. Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor de la Reserva Forestal Imataca
4. Bibliografía

Índice de Tablas

- Tabla 3.1. Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor de la RFI.

Índice de Figuras

- Figura 3.1. Tipos de valores de los servicios ecosistémicos
Figura 3.2. Tipos de valores de los servicios ecosistémicos

Capítulo 4. Identificación y clasificación de actores involucrados con los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

1. Identificación de actores involucrados con los SE de la RFI
2. Clasificación de los actores

Índice de Tablas

- Tabla 4.1. Actores involucrados con los SE de provisión de la RFI.
Tabla 4.2. Actores involucrados con los SE de regulación de la RFI
Tabla 4.3. Actores involucrados con los SE culturales de la RFI.
Tabla 4.4. Clasificación de los actores

Capítulo 5. Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente

Índice de Contenido

1. Metodología
 - a. Comparación de pares
 - 1.2. Importancia del servicio ecosistémico
 - 1.3. Proporción de actores
 - 1.4. Priorización definitiva
2. Resultados
 - 2.1. Comparación de pares
 - 2.2. Importancia del servicio ecosistémico
 - 2.3. Proporción de la participación de actores en los tipos de SE por categorías.
 - 2.4. Priorización definitiva
3. Revisión de la priorización de los SE a valorar económicamente en la RFI
4. Conclusiones
5. Bibliografía

Índice de Tablas

- | | |
|-------------|---|
| Tabla 5.1. | Comparación de pares SE provisión |
| Tabla 5.2. | Ejemplo de llenado comparación de pares SE provisión. |
| Tabla 5.3. | Comparación de pares SE regulación. |
| Tabla 5.4. | Comparación de pares SE culturales. |
| Tabla 5.5. | Frecuencia de cada Juez |
| Tabla 5.6. | Resultados de PS |
| Tabla 5.7. | Peso, P, de los diferentes criterios |
| Tabla 5.8. | Resultados SE de provisión |
| Tabla 5.9. | Resultados SE de regulación |
| Tabla 5.10. | Resultados SE culturales |
| Tabla 5.11. | Importancia de los SE de provisión |
| Tabla 5.12. | Importancia de los SE de regulación |

Tabla 5.13.	Importancia de los SE culturales
Tabla 5.14.	Proporción de actores SE de provisión
Tabla 5.15.	Proporción de actores SE regulación
Tabla 5.16.	Proporción actores SE culturales
Tabla 5.17.	Priorización definitiva SE de provisión
Tabla 5.18.	Priorización definitiva SE de regulación
Tabla 5.19.	Priorización definitiva SE culturales
Tabla 5.20.	SE priorizados por categorías en la RFI.
Tabla 5.21.	Priorización de los diferentes SE de las distintas categorías
Tabla 5.22.	SE seleccionados por categorías

Índice de Figuras

Figura 5.1.	Criterios de priorización de los servicios ecosistémicos presentes en la RFI.
Figura 5.2.	Resultados de llenados de las matrices por tres jueces.
Figura 5.3.	Priorización SE Provisión.
Figura 5.4.	Priorización de SE de Regulación
Figura 5.5.	Priorización de SE Culturales.

Capítulo 6. Identificación, clasificación, descripción general y selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados

Índice de Contenido

1. Valor económico Total de los SE priorizados
2. Identificación y clasificación de las técnicas de valoración económica de servicios ecosistémicos
3. Descripción general de las técnicas de valoración económica de los SE
 - 3.1. Método de precios de mercado o de valores de mercado
 - 3.2. Métodos de costo de prevención, corrección, mitigación o compensación
 - 3.3. Costos de reemplazo

- 3.4. Costos de sustitución
- 3.5. Costos de relocalización
- 3.6. Proyectos sombra
- 3.7. Costo eficiencia
- 3.8. Técnica del costo de oportunidad

- 3.9. Técnica de función de producción
- 3.10. Técnica de costo de enfermedades
- 3.11. Técnica del costo de viaje
- 3.12. Técnica de los precios hedónicos
- 3.13. Método de valoración contingente
- 3.14. Experimentos de selección (modelos de elección)
- 3.15. Transferencia de beneficios

- 4. Selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los SE priorizados en la RFI

- 5. Bibliografía

Capítulo 7. Valoración Económica del Servicio Ecosistémico Madera de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco Teórico
 - 2.1. Productos forestales maderables
 - 2.2. Importancia del aprovechamiento de la madera en la RFI
 - 2.3. La explotación de madera en Venezuela y en la Reserva Forestal Imataca
 - 2.4. Valoración económica de la madera
- 3. Metodología
 - 3.1. Costos anuales por superficie
 - 3.2. Beneficios anuales por superficie
 - 3.3. Beneficios netos anuales por superficie
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y resultados
 - 5.1. Costos anuales
 - 5.2. Beneficios anuales
 - 5.3. Beneficios netos anuales
- 6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
- 7. Bibliografía

Índice de Tablas

- Tabla 7.1. Base de cálculo de los costos anuales
- Tabla 7.2. Resumen de Costos Anuales
- Tabla 7.3. Base para la estimación de beneficios anuales

Capítulo 8. Valoración ambiental y económica de los productos forestales no madereros prospectivos de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco teórico
 - a. Método del costo de oportunidad del tiempo de recolección
 - b. Método de valoración contingente
 - c. Método usando precios de mercado
 - d. Método de transferencia de beneficios
- 3. Metodología
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Identificación de Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI
 - 5.2. Selección de PFNM prospectivos con potencial de ser comercializados en la RFI
 - 5.3. Selección de PFNM que ya están siendo comercializados en las cercanías de la RFI
 - 5.4. Aplicación de técnica de valoración económica a los PFNM prospectivos seleccionados en el punto anterior.
 - 5.4.1. Aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFNM de la RFI.
 - 5.4.2. Supuestos para la aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFNM de la RFI.
 - 5.4.3. Datos para la aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFNM de la RFI.
 - 5.4.4. Valor económico de la sarrapia en la RFI

5.4.5. Valor económico del aceite de copaiba en la RFI

5.4.6. Observaciones respecto al precio de la Sarrapia y el Aceite de Copaiba

6. Conclusiones y Recomendaciones

7. Bibliografía

Anexo 8.1. Lista de PFMN prospectivos presentes en la Unidad V de la RFI

Índice de Tablas

Tabla 8.1. PFMN prospectivos preseleccionados en la Unidad V por su potencial a ser comercializados

Tabla 8.2. Criterios de selección de PFMN prospectivos a ser comercializados en la RFI

Tabla 8.3. PFMN prospectivos seleccionados

Índice de Figuras

Figura 8.1. Metodología para la valoración ambiental y económica de los PFMN prospectivos de la RFI.

Capítulo 9. Valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos rendimiento hídrico y regulación de los flujos de aguas en la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

Resumen

1. Introducción

2. Marco Teórico

2.1. Modelo inVEST

2.2. Transferencia de beneficios

3. Metodología

3.1. Metodología para la valoración ambiental

3.2. Metodología para la valoración económica

4. Limitaciones
5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Valoración ambiental del rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua
 - 5.1.1. Análisis de datos de precipitación para el Rendimiento Hídrico y regulación de flujos de agua de la RFI
 - 5.1.2. Estimación de ETo
 - 5.1.3. Determinación de la evapotranspiración potencial
 - 5.1.4. Valores de Evapotranspiración Potencial (ETc) o ETP
 - 5.1.5. Delimitación en subcuencas para el análisis
 - 5.1.6. Determinación del rendimiento hídrico anual en la RFI
 - 5.1.7. Análisis de incertidumbre de los valores encontrados de rendimiento hídrico
 - 5.1.8. Referencias mundiales de rendimiento para la RFI
 - 5.1.9. Variabilidad estacional del flujo
 - 5.1.10. Rendimientos hídricos por coberturas y su variación temporal
 - 5.2. Valoración económica del rendimiento hídrico de la Reserva Forestal Imataca
 - 5.2.1. Procedimiento contraprestación por aprovechamiento de la República Bolivariana de Venezuela (2018)
 - 5.2.2. Transferencia de beneficios usando los valores de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward (2010)
 - 5.2.3. Conversión de bosques en zonas de asentamientos y minerías
6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
7. Bibliografía
 - Anexo 9.1. Uso del inVEST para el cálculo del rendimiento hídrico

Índice de Tablas

- Tabla 9.1. Datos, Resultados Eto Calculator V3.2 PM para Estación Upata (3994) - Promedio Histórico
- Tabla 9.2. Datos y Resultados P-M, Eto Calculator V3.2 para Estación Tumeremo-Aeropuerto (4974) Promedio Histórico
- Tabla 9.3. Datos y Resultados Eto Calculator V3.2 para Estación Anacoco -5911- Promedio Histórico
- Tabla 9.4. Resumen Datos y ETo Hamon para estaciones RFI
- Tabla 9.5. Factores de Ajuste para transformar Eto de Hamon a Eto-PM
- Tabla 9.6. Valores de Kc, según las coberturas RFI clasificadas según IPCC-2003
- Tabla 9.7. Análisis de cambio de coberturas para la RFI, período 2000-2018
- Tabla 9.8. Cuencas para el análisis de ETP en la RFI
- Tabla 9.9. Rendimiento Hídrico en la RFI para Años 2000 y 2018. Salidas de InVEST
- Tabla 9.10. Rendimiento hídrico total año y promedio por hectárea año para las categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000 y 2018.
- Tabla 9.11. Valores bases para los usos por aprovechamiento (República Bolivariana de Venezuela, 2018)
- Tabla 9.12. Tarifa (República Bolivariana de Venezuela, 2018)
- Tabla 9.13. Estadísticas descriptivas de los datos de la Tabla 9.11
- Tabla 9.14. Contraprestación Anual para los Bosques de la RFI
- Tabla 9.15. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI año 2018.
- Tabla 9.16. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI usando el valor de la UT de Colombia para el año 2018.
- Tabla 9.17. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI usando el valor de la UT de Perú para el año 2018.
- Tabla 9.18. Valor del rendimiento hídrico por transferencias de beneficios de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward y otros (2010).
- Tabla 9.19. Diferencias en rendimientos hídricos conversión de bosques en asentamientos o en minería
- Tabla 9.20. Valor, respecto al rendimiento hídrico de conversión de los bosques en asentamientos para la RFI.
- Tabla 9.21. Valor, respecto al rendimiento hídrico de conversión de los bosques en minería para la RFI.

Índice de Figuras

- Figura 9.1. Isoyetas de Precipitación media mensual para la RFI, con base en diferentes períodos de interés. (a) Precipitación Asíncrona. (b) Período 1971-2000. (c) Período 1968-1983. (d) Período 1977-1982.
- Figura 9.2. Hietogramas mensuales de precipitación media para diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI.
- Figura 9.3. Información histórica en contraste con los modelos ETA-Hadgem2 y Eta-Miroc5. (a) Histórica 1971-2000 (b) Histórica Asíncrona (c) Ensamble Simulación histórica modelos
- Figura 9.4. Precipitación media en la RFI. Ensamble ajustado Pmedia 1 800 mm
- Figura 9.5. Distribución Espacio-temporal de la Temperatura para estaciones cercanas y dentro de la RFI. Años 1971 al 1999.
- Figura 9.6. Distribución espacial de la temperatura media anual en la RFI, obtenida a partir del ensamble de modelos Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5 ajustada a datos históricos.
- Figura 9.7. Láminas diarias de Eto PM para cada mes, obtenidas de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Upata 3994.
- Figura 9.8. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1953-1996 en la Estación Upata 3994. Promedio anual 1 863
- Figura 9.9. Láminas diarias históricas de Eto P-M para cada mes, obtenidos de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Tumeremo Aeropuerto (4974).
- Figura 9.10. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1972-1980 en la Estación Tumeremo-Aeropuerto (4974). Promedio anual 1991
- Figura 9.11. Láminas diarias históricas de Eto PM para cada mes, obtenidos de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Anacoco (5911). Eto anual de 1 587 mm.
- Figura 9.12. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1971-1999 en la Estación Anacoco (5911). Promedio 1 758 mm/año
- Figura 9.13. Correlaciones obtenidas entre PM y Hamon luego de ajuste mensual de datos mediante para datos históricos de las estaciones de referencia en la RFI.

- Figura 9.14. Evapotranspiración del cultivo de referencia promedio (ETo) 1971-2000. Simulada para la RFI. Hamon-PM-Ensamble Temperatura. Valor Promedio Eto en RFI: 1 609 mm.
- Figura 9.15. ETo para la RFI, fuente datos mundiales Trabucco y Zommer (2018). ETo promedio en RFI 1 673 mm.
- Figura 9.16. Valores de Kc espectral, obtenidos a partir de valores de NVDI. Para la RFI. Valor promedio para la Reserva 0,94.
- Figura 9.17. Valores del Coeficiente de Cultivo, obtenidos a partir de la clasificación de coberturas de la tierra obtenida de la base de datos de HydroBID, Kc promedio en la RFI, 0,98
- Figura 9.18. Coberturas predominantes en la RFI, levantamiento a partir de imágenes a píxel 30 x 30 m. Valor promedio de Kc =1,031
- Figura 9.19. Evapotranspiración potencial (ETP) en la RFI (mm). Kc a través de coberturas USGS-HydroBID-Tool. Valor promedio para la RFI. 1 578 mm.
- Figura 9.20. Valores de Evapotranspiración Potencial en la RFI obtenidos a partir de valores de Kc espectral. Valor promedio para la RFI, ETO: 1 520 mm
- Figura 9.21. Índices de aridez para caracterizar el comportamiento climático de la RFI. Valores inferiores a la curva en negrita indican zonas semiáridas o secas. (a) Índice de Lang (b) Índice de Martonne (c) Índice de Martin y Revenga (d) Índice ONU Trabucco (2018).
- Figura 9.22. División de subcuencas para el análisis de rendimiento hídrico en la RFI.
- Figura 9.23. Rendimiento o producción anual en mm para las subcuencas de la RFI. Algoritmo de Budyko. InVEST Año. 2000
- Figura 9.24. Variabilidad espacial del rendimiento anual en la RFI con datos mundiales, Rodell *et al.* NASA (2015).
- Figura 9.25. Variación estacional del rendimiento hídrico para la RFI. Mapas de rendimiento de (a) Enero a (f) Junio.
- Figura 9.26. Rendimiento de la RFI para los meses de (a) Julio a (f) Diciembre
- Figura 9.27. Rendimiento mensual medido para la Cuenca del río Grande (669 mm), Cuenca del río Yuruari (216 mm), Cuenca del río Cuyuní en el Dorado (576 mm). Comparados con el Simulado (2000-2019) NASA para la RFI (420 mm)

Índice de Contenido – Anexo 9.1. Uso del InVEST para el cálculo del rendimiento hídrico

1. Información requerida y suministrada al InVEST para estimar el rendimiento hídrico
2. Resultados
 - 2.1. Distribución espacial del rendimiento hídrico en la RFI, años 2000 y 2018.
 - 2.2. Distribución espacial del rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, años 2000 y 2018.
 - 2.3. Distribución espacial de las diferencias en el rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, años 2000 y 2018.
3. Bibliografía

Índice de Tablas – Anexo 9.1. Uso del InVEST para el cálculo del rendimiento hídrico

- | | |
|----------|--|
| Tabla 1. | Información requerida por el InVEST para calcular el rendimiento hídrico |
| Tabla 2. | Superficie y porcentaje por categorías de coberturas/uso del suelo para los años 2000 y 2018, en la RFI. |
| Tabla 3. | Rendimiento hídrico total año y promedio por hectárea año para las categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000 y 2018. |

Índice de Figuras – Anexo 9.1. Uso del InVEST para el cálculo del rendimiento hídrico

- | | |
|-----------|--|
| Figura 1. | Distribución espacial del rendimiento hídrico anual en la RFI, para el año 2000. |
| Figura 2. | Distribución espacial del rendimiento hídrico anual en la RFI, para el año 2018. |
| Figura 3. | Distribución espacial rendimiento hídrico promedio por categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000, en la RFI. |
| Figura 4. | Distribución espacial rendimiento hídrico promedio por categorías de coberturas/uso del suelo, años 2018, en la RFI. |
| Figura 5. | Distribución espacial de las diferencias en el rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, entre los años 2000 y 2018. |

Capítulo 10. Valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la RFI

Índice de Contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco teórico
 - 2.1. Modelo InVest
 - 2.2. Precios del carbono
 - 2.3. Referencias del carbono en la RFI
 - 2.4. Referencias de valor económico de atrape y almacenamiento de carbono en otras latitudes
- 3. Metodología
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Carbono almacenado escenarios actual (año 2000) y futuro (año 2018)
 - 5.2. Valor económico del carbono almacenado en la RFI año 2018 por categorías de uso del suelo
 - 5.3. Secuestro de Carbono entre los años 2000 y 2018
 - 5.4. Valor económico del secuestro de carbono
- 6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
- 7. Bibliografía
 - Anexo 10.1. Valoración ambiental del carbono en biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta
 - Anexo 10.2. Valoración ambiental del carbono del suelo de la Reserva Forestal de Imataca

Índice de Tablas

Tabla 10.1.	Requerimientos de Información para el almacenamiento y secuestro de carbono
Tabla 10.2.	Valores promedio de carbono para cada reservorio en las diferentes categorías para el año 2000 en la RFI.
Tabla 10.3.	Carbono almacenado en biomasa aérea, subterránea y muerta en las diferentes categorías para el año 2000 en la RFI
Tabla 10.4	Carbono almacenado en biomasa viva y muerta con carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso del suelo para el año 2000 en la RFI.
Tabla 10.5	Carbono almacenado en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso, para el año 2018 en la RFI.
Tabla 10.6	Carbono almacenado en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso, para del año 2018 en la RFI.
Tabla 10.7	Valor económico del carbono almacenado, año 2018, por categorías de uso, en la RFI

Índice de Figuras

Figura 10.1	Proceso general de modelación.
Figura 10.2	Mapa de cobertura y uso actual del suelo RFI, año 2000
Figura 10.3	Mapa de cobertura y uso actual del suelo RFI, año 2018
Figura 10.4	Almacenamiento de carbono sin carbono en el suelo, escenario actual (año 2000) en la RFI.
Figura 10.5	Almacenamiento de carbono con carbono en el suelo, escenario actual (año 2000) en la RFI.
Figura 10.6	Almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, escenario futuro (año 2018) en la RFI.
Figura 10.7	Almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, escenario futuro (año 2018) en la RFI
Figura 10.8	Distribución espacial del valor económico del carbono almacenado, año 2018, en la RFI.
Figura 10.9	Distribución espacial del secuestro y liberación de carbono entre los años 2000 – 2018 en la RFI.
Figura 10.10	Distribución espacial del valor económico del carbono secuestrado entre los años 2000 – 2018 en la RFI.

Índice de Contenido – ANEXO 10.1. Valoración ambiental del carbono en biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta

1. Introducción
2. Metodología
 - 2.1. Materiales
 - 2.2. Metodología
3. Hallazgos y Resultados
 - 3.1. Evaluación de la incertidumbre de los mapas de 2000 y 2018 de la RFI
 - 3.2. Mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 2000 y 2018 de la RFI
 - 3.3. Cambios de cobertura y uso de la tierra entre los años 2000 y 2018
 - 3.4. Carbono almacenado en la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y biomasa en el suelo en la RFI
 - 3.5. Emisiones/Absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018 en la RFI
6. Conclusiones
7. Bibliografía

Índice de Tablas - ANEXO 10.1. Valoración ambiental del carbono en biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta

- | | |
|----------|--|
| Tabla 1. | Imágenes utilizadas en la elaboración de los mapas de la RFI de 2000 y 2018. |
| Tabla 2. | Categorías y subcategorías empleadas en los mapas de 2000 y 2018 de la RFI. |
| Tabla 3. | |
| Tabla 4. | Definiciones de los depósitos terrestres del IPCC |
| Tabla 5. | Matriz de confusión del mapa del año 2000 de la RFI. |
| Tabla 6. | Matriz de confusión del mapa del año 2018 de la RFI. |
| Tabla 7. | Superficies y porcentajes de ocupación en las diferentes categorías para los años 2000 y 2018 en la RFI. |
| Tabla 8. | Matriz de cambio para los años 2000 y 2018 en la RFI |
| Tabla 9. | Valores promedio de biomasa y C en las diferentes categorías, utilizados para los cálculos de los años 2000 y 2018 en la RFI |

- Tabla 10. Carbono almacenado en la biomasa viva (aérea y subterránea) y biomasa muerta (madera muerta y detritus) en las diferentes categorías para los años 2000 y 2018 en la RFI.
- Tabla 11. Emisiones de CO₂ entre 2000 y 2018 en la AGB, subterránea y MOM, originados por diferentes procesos dentro de la RFI.

Índice de Figuras - ANEXO 10.1. Valoración ambiental del carbono en biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta

- Figura 1 Código de las imágenes satelitales LandSat que abarcan la RFI
- Figura 2 Muestras de verdad-terreno para determinar la incertidumbre del mapa del año 2000 de la RFI.
- Figura 3 Mapa de AGB para la RFI
- Figura 4 Errores de comisión y omisión del mapa de la RFI para el 2000.
- Figura 5 Errores de comisión y omisión del mapa de la RFI para el 2018.
- Figura 6 Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000 de la RFI
- Figura 7 Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2018 de la RFI.
- Figura 8 Emisiones y absorciones de CO₂ entre el 2000 y 2018 en la RFI

Índice de Contenido – ANEXO 10.2. Valoración ambiental del carbono del suelo de la Reserva Forestal de Imataca

1. Introducción
2. Marco Teórico
 - 2.1. El Ciclo del Carbono
 - 2.2. Carbono Orgánico del Suelo (COS)
 - 2.3. Materia Orgánica del Suelo (MOS)
3. Metodología
 - 3.1. Fase I: Establecimiento de objetivos del estudio
 - 3.2. Fase II: Recopilación y análisis de la información
 - 3.3. Fase III: Estimación de las Reservas del COS
 - 3.4. Fase IV: Determinación del cambio de las Reservas del COS
 - 3.5. Fase V: Evaluación de la incertidumbre

- 3.6 Fase VI: Resultados y análisis
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Los suelos de la Reserva Forestal Imataca
 - 5.2. Metodologías para la estimación del COS
 - 5.3. Estimación del COS en la Reserva Forestal Imataca para el año 2000
 - 5.4. Estimación de los cambios en las existencias del COS en la Reserva Forestal Imataca para el año 2018
 - 5.1. Conversión del COS a emisiones de CO₂ en los suelos de la Reserva Forestal Imataca
 - 5.2. Evaluación de la incertidumbre
- 6. Conclusiones y Recomendaciones
- 7. Bibliografía

Índice de Tablas - ANEXO 10.2. Valoración ambiental del carbono del suelo de la Reserva Forestal de Imataca

- | | |
|-----------|--|
| Tabla 1. | Valores de erosionabilidad del suelo (K) asociados a la textura y al contenido de materia orgánica. |
| Tabla 2. | Clases texturales y densidades aparentes asumidas para los suelos de la Reserva Forestal Imataca. |
| Tabla 3. | Densidades aparentes corregidas para los suelos de la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 4. | Pasos de cálculo de C para el Nivel 1 |
| Tabla 5. | Factores de emisión para suelos orgánicos drenados en bosques gestionados |
| Tabla 6. | Órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 7. | Características generales de los suelos por posición fisiográfica en la Reserva Forestal Imataca |
| Tabla 8. | Clases texturales de los suelos en la Reserva Forestal Imataca. |
| Tabla 9. | Algunas metodologías empleadas para el cálculo del COS |
| Tabla 10. | Contenido de materia orgánica y carbono en el suelo asociados por clase textural y órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca |

Tabla 11.	Contenido de materia orgánica y carbono orgánico en el suelo asociados por tipo de uso y cobertura de la tierra
Tabla 12.	Reservas de carbono orgánico en el suelo, asociadas por clase textural y órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 13.	Reservas de carbono orgánico en el suelo, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra en la Reserva Forestal Imataca
Tabla 14.	Reservas de carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra en la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 15.	Conversión del uso y cobertura de la tierra en suelos orgánicos, en la Reserva Forestal Imataca
Tabla 16.	Efectos sobre las Reservas de carbono orgánico en suelos orgánicos de la Reserva Forestal Imataca, por cambios en el tipo de uso y cobertura de la tierra
Tabla 17.	Cambios en las Reservas de carbono orgánico en suelos orgánicos de la Reserva Forestal Imataca, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra.
Tabla 18.	Emisiones de CO ₂ evitadas en la Reserva Forestal Imataca
Tabla 19.	Incertidumbre de las tasas promedio de las Reservas de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

Índice de Figuras - ANEXO 10.2. Valoración ambiental del carbono del suelo de la Reserva Forestal de Imataca

Figura 1.	Fases metodológicas para la estimación de las Reservas de COS en la Reserva Forestal Imataca
Figura 2.	Puntos con información del factor erosionabilidad del suelo en la Reserva Forestal Imataca
Figura 3.	Distribución espacial de los órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca
Figura 4.	Distribución espacial de las clases texturales de los suelos en la Reserva Forestal Imataca.
Figura 5.	Distribución espacial de la erosionabilidad de los suelos en la Reserva Forestal Imataca
Figura 6.	Distribución de suelos orgánicos y minerales, en la Reserva Forestal Imataca

- Figura 7. Distribución espacial de la materia orgánica en los suelos de la Reserva Forestal Imataca
- Figura 8. Distribución espacial del carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca
- Figura 9. Densidad aparente de los suelos de la Reserva Forestal Imataca
- Figura 10. Reservas de carbono orgánico en el suelo, en la Reserva Forestal Imataca
- Figura 11. Reservas de carbono orgánico en el suelo según el modelo mundial SoilGrids, en la Reserva Forestal Imataca.

CAPÍTULO 11

Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico Control de la Erosión del Suelo y Sedimentación en la Reserva Forestal Imataca

Índice de contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco Teórico
 - 2.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE
 - 2.2. Tipos de erosión según la zona donde se produce
 - 2.3. Producción de sedimentos
 - 2.4. Técnica de costos evitados
- 3. Metodología
 - 3.1. Identificación y delimitación de las subcuencas aportante en la RFI
 - 3.2. Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas
 - 3.3. Cálculo las diferentes tasas de erosión de las subcuencas
 - 3.4. Clasificación las diferentes subcuencas

- 3.5. Cálculo la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas
- 3.6. Selección las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica
- 3.7. Estimación de la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas
- 3.8 Valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas
- 3.8. Discusión de los resultados
4. Limitaciones
 - 4.1. En cuanto al modelo USLE
 - 4.2. En cuanto al Aporte de Sedimento a los cursos de agua
 - 4.3. En cuanto a la valoración económica de SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas
5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Delimitación de las diferentes subcuencas aportantes en la RFI
 - 5.2. Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas
 - 5.3. Cálculo de las diferentes tasas de erosión de las subcuencas y su clasificación
 - 5.4. Cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas
 - 5.5. Selección las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica
 - 5.6. Estimación la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas
 - 5.3. Valoración económica del SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas
6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
7. Bibliografía

Índice de Tablas

- Tabla 11.1. Clasificación de las subcuencas de acuerdo con su tasa de erosión
- Tabla 11.2. Costos de dragado de diversas fuentes.
- Tabla 11.3. Subcuencas aportantes en la RFI.
- Tabla 11.4. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.
- Tabla 11.5. Producción de sedimentos por las diferentes subcuencas aportantes
- Tabla 11.6. Resultados de los sedimentos totales aportados a las confluencias de cada subcuenca con base en el Coeficiente de Entrega de sedimento (CES)
- Tabla 11.7. Resultados de los sedimentos aportados a las confluencias de cada subcuenca por unidad de superficie.
- Tabla 11.8. Resultados de la producción y aporte total de sedimentos para los seis escenarios planteados y las cuatro subcuencas del Delta del río Orinoco expresados para una hectárea como unidad de superficie a sustituir según el escenario considerado
- Tabla 11.9. Costo de dragado para los sedimentos aportados por cada subcuenca seleccionada al Canal del Orinoco para los seis escenarios planteados
- Tabla 11.10. Valor económico del SE control de la erosión y sedimentación para cada una de las subcuencas seleccionadas

Índice de Figuras

- Figura 11.1. Relación entre los procesos de desprendimiento, transporte y sedimentación de los sedimentos.
- Figura 11.2. Tipos de erosión según la escala de tiempo.
- Figura 11.3. Metodología de valoración económica del SE control de la erosión y sedimentación de la RFI.
- Figura 11.4. Modelo conceptual para la estimación de los niveles de pérdida de suelo
- Figura 11.5. Variación del Coeficiente de Entrega de Sedimentos en función del área de la cuenca
- Figura 11.6. Curva sobre la variación de CES en función del área en la que se señala la línea de tendencia.
- Figura 11.7. Subcuencas aportantes a la Reserva Forestal Imataca (RFI) y al Canal de Navegación del río Orinoco.

- Figura 11.8. Factor R o erosividad de la lluvia
- Figura 11.9. Factor K relacionado con la erosionabilidad del suelo
- Figura 11.10 Factor topográfico, LS
- Figura 11.11 Factor de Cobertura, C
- Figura 11.12 Esquema representativo de la aplicación del modelo de cálculo de la erosión mediante la USLE.
- Figura 11.13 Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI)
- Figura 11.14 Puntos de descarga supuestos de las diferentes subcuencas, resaltando las del Delta del Orinoco.

Capítulo 12

Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico Mantenimiento de la Calidad del Agua en la Reserva Forestal Imataca

Índice de contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco Teórico
 - 2.1. Método de los costos evitados o inducidos
 - 2.2. Efecto de la contaminación del mercurio en las aguas
 - 2.3. Efecto de la contaminación por sedimentos en el agua
 - 2.4. Valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua
- 3. Metodología
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua usando el sistema propuesto para el tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad minera aurífera en la RFI

- 5.1.1. Elementos de las Etapas del Sistema Propuesto para el Tratamiento de las Aguas Residuales provenientes de la Actividad Minera Aurífera
- 5.1.2. Humedal Construido de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSSH) seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad minera aurífera en la RFI
- 5.1.3. Estimación de los costos de inversión inicial, administrativos, de operación y mantenimiento de la PTAR propuesta que usa el sistema HFSSH
- 5.1.4. Valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua de la RFI
- 5.2. Valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua usando el Sistema propuesto de presas de enrocado para el control de sedimentos
 - 5.2.1. Descripción general e historia de las presas de enrocado
 - 5.2.2. Criterios para el dimensionamiento de presas de enrocado sometidas a flujo
 - 5.2.3. Determinación del volumen de sedimentos atrapados
 - 5.2.4. Bases para la estimación del costo de las presas de enrocado
 - 5.2.5. Costo de las presas de enrocado para las diferentes subcuencas de la Reserva Forestal de Imataca
- 6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
- 7. Bibliografía
 - Anexo 12.1. Actividad aurífera en la reserva Forestal de Imataca
 - Anexo 12.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales y Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca
 - Anexo 12.3. Estimación de erosión y sedimentación de las cuencas aportantes de la Reserva Forestal Imataca
 - Anexo 12.4. Área y Volumen de Sedimentos y de Enrocado requerido para el control de sedimentos

Índice de Tablas

Tabla 12.1.	Concentración gravimétrica y amalgamación
Tabla 12.2.	Características del pretratamiento – Caja de Rejas
Tabla 12.3.	Características del pretratamiento – Desarenador
Tabla 12.4.	Características del pretratamiento – Canaleta Parshall
Tabla 12.5.	Características del pretratamiento – Sedimentador
Tabla 12.6.	Características del tratamiento – Humedal
Tabla 12.7.	Estimación de los costos de mantenimiento
Tabla 12.8.	Costos Directos e Indirectos Estimados para Sistemas de Humedales (USD)
Tabla 12.9.	Costos Administrativos anuales (USD)
Tabla 12.10.	Costos de operación anual (USD)
Tabla 12.11.	Costos de anuales de mantenimiento (USD)
Tabla 12.12.	Costos totales estimados unitarios (por cada unidad de Sistema de Tratamiento (USD)
Tabla 12.13.	Costos totales estimados (para 25 unidades de Sistema de Tratamiento).
Tabla 12.14.	Identificación, medición y valoración de un sistema de tratamiento
Tabla 12.15.	Ordenación de los costos de un sistema de tratamiento.
Tabla 12.16.	Resultados de VPC y CAE de un sistema de tratamiento
Tabla 12.17.	Estimación de costos para la construcción de presas de enrocado
Tabla 12.18.	Producción de sedimentos por las diferentes subcuencas aportantes
Tabla 12.19.	Costos anuales por superficie y por volumen de sedimentos del servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua.
Tabla 12.20.	Datos de superficie, volumen de sedimentos y costos anuales de mantenimiento de la calidad del agua.
Tabla 12.21.	Resultados de la regresión
Tabla 12.22.	Costos anuales de implementación de las medidas de retención de sedimentos mediante presas de enrocado

Índice de Figuras

- Figura 12.1. Esquema adoptado para una PTAR con un sistema de humedales de flujo subsuperficial horizontal
- Figura 12.2. Características del tratamiento – Humedal
- Figura 12.3. Metodología usada para la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua.
- Figura 12.4. Formulación del modelo de la hipótesis formulada
- Figura 12.5. Dimensiones del dique de enrocado.
- Figura 12.6. Sistematización del cálculo del volumen de sedimentos atrapados en el vaso de la presa de enrocado sujeta a flujo.

Índice de Contenido - ANEXO 12.1. Actividad aurífera en la reserva Forestal de Imataca

- Procesos de producción de oro
- Producción Artesanal
- Producción Industrial
- Contaminación de los recursos Aguas y Suelo por la actividad minera aurífera

Índice de Tablas - ANEXO 12.1. Actividad aurífera en la reserva Forestal de Imataca

- Tabla 1. Arco Minero del Orinoco, Áreas, Extensión y Minerales Predominantes

Índice de Figuras- ANEXO 12.1. Actividad aurífera en la reserva Forestal de Imataca

- Figura 1. Minería dentro de la Reserva Forestal Imataca
- Figura 2. Áreas del Arco Minero del Orinoco insertas dentro de la Reserva Forestal Imataca.
- Figura 3. Producción de Oro en Venezuela (gramos), período 1989-2009
- Figura 4. Fases del proceso de producción de oro a escala artesanal
- Figura 5. Actividad de succión en la concesión Bizkaitarra -Km 88
- Figura 6. Mina Unión. Distrito Aurífero El Callao
- Figura 7. Recuperación o beneficio del oro a través del proceso de amalgamación con mercurio.
- Figura 8. Fases del proceso de producción de oro a escala industrial
- Figura 9. Explotación en yacimiento de saprolita y veta. Revermin-Crystallex

- Figura 10. Planta procesadora de Minerven en El Callao; se observan los tanques para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con cianuro
- Figura 11. Estimación del índice de afectación ambiental en la zona de explotación minera. (Fragmento)

Índice de Contenido - ANEXO 12.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales y Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca

- Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales
- Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca
- Categorización de las fuentes y principales vías de liberación del mercurio
- Enfoque Nacional/General para el inventario
- Factores de entrada y factores de distribución de salidas

Índice de Tablas - ANEXO 12.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales y Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca

- Tabla 1. Clasificación de los Sistemas de Tratamiento de Depuración
- Tabla 2. Categoría principal, subcategoría, principales vías de liberación y enfoque del inventario.
- Tabla 3. Factores preliminares de entrada por defecto para el consumo de mercurio debido a la extracción de oro con el proceso de amalgamación de mercurio.
- Tabla 4. Factores preliminares por defecto de distribución de salidas sugeridos para la extracción de oro con amalgamación de mercurio.
- Tabla 5. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg), a nivel nacional. Año 2017
- Tabla 6. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg) en la Reserva Forestal Imataca. Año 2017
- Tabla 7. Descripción de la Metodología y Resultados de la Aplicación de la Metodología para la Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio en la RFI.

Índice de Figuras- ANEXO 12.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales y Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca

- Figura 1. Sección longitudinal de un humedal de flujo subsuperficial (HFS) de flujo horizontal
- Figura 2. Esquema típico de un humedal de flujo subsuperficial (HFS) de flujo vertical
- Figura 3. Metodología estandarizada para la cuantificación de las liberaciones de mercurio
- Figura 4. Sección longitudinal de un humedal de flujo subsuperficial (HFS) de flujo horizontal

Índice de Contenido - ANEXO 12.3. Estimación de erosión y sedimentación de las cuencas aportantes de la Reserva Forestal Imataca

- Delimitación de las diferentes subcuencas aportantes en la RFI
- Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas
- Cálculo de las diferentes tasas de erosión de las subcuencas y su clasificación
- Cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas.

Índice de Tablas - ANEXO 12.3. Estimación de erosión y sedimentación de las cuencas aportantes de la Reserva Forestal Imataca

- Tabla 1. Subcuencas aportantes en la RFI.
- Tabla 2. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.

Índice de Figuras- ANEXO 12.3. Estimación de erosión y sedimentación de las cuencas aportantes de la Reserva Forestal Imataca

- Figura 1. Subcuencas aportantes a la RFI
- Figura 2. Factor R o erosividad de la lluvia
- Figura 3. Factor K relacionado con la erosionabilidad del suelo

- Figura 4. Factor topográfico, LS
- Figura 5. Factor de Cobertura, C
- Figura 6. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.

Índice de Tablas - Anexo 12.4. Área y Volumen de Sedimentos y de Enrocado requerido para el control de sedimentos

- Tabla A-1. Datos de inicio
- Tabla A-2. Río Yuruari: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-3. Río Supamo: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-4. Río Yuruan: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-5. Río Cuyuni: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-6. Río Venamo - Cuyuni: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-7. Río Botanamo: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-8. Río Moracuani: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-9. Río Aguas Negras: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-10. Río Acarabisi: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-11. Río Yuruari: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-12. Río Supamo: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-13. Río Yuruan: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.

- Tabla A-14. Río Alto Cuyuní: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-15. Río Venamo - Cuyuní: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-16. Río Botanamo: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-17. Río Moracuani: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-18. Río Aguas Negras: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-19. Río Acarabisí: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-20. Río Casacoima a Santa Catalina: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-21. Río Grande: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-22. Río Aguirre: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-23. Río Coyobuní: Área y volumen de enrocado; Área y volumen de sedimentos
- Tabla A-24. Río Casacoima a Santa Catalina: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-25. Río Grande: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-26. Río Aguirre: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.
- Tabla A-27. Río Coyobuní: Costo presa enrocado en USD. Tasa de cambio: 3,34 S/USD.

Capítulo 13

Valoración ambiental y económica de la Conservación de la Biodiversidad en la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

Resumen

1. Introducción
2. Marco teórico
3. Metodología
 - 3.1 Valoración ambiental de la biodiversidad de la RFI
 - 3.2 Valoración económica de la conservación de la biodiversidad de la RFI
4. Limitaciones
5. Hallazgos y Resultados
 - 5.1. Valoración ambiental de la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca
 - 5.1.1. Vegetación
 - 5.1.1.1. Clasificación de la vegetación de la RFI
 - 5.1.1.2. Unidades de vegetación de la RFI
 - 5.1.1.3. Lista de especies reportadas para la RFI
 - 5.1.1.4 Estado actual de la vegetación de la RFI
 - 5.1.1.5. Análisis de amenazas a la vegetación en la RFI
 - 5.1.1.6. Especies vegetales amenazadas en la RFI
 - 5.1.1.7. Plantas medicinales de la RFI
 - 5.1.2. Fauna
 - 5.1.2.1. Macroinvertebrados acuáticos
 - 5.1.2.2. Vertebrados
 - 5.1.2.3. Especies amenazadas
 - 5.1.2.4. Especies cinegéticas y con valor potencial de cacerías de subsistencia
 - 5.1.2.5. Fauna base de datos GBIF
 - 5.2. Valoración económica de la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca

- 5.2.1. Bases legales para la valoración económica de la biodiversidad en la RFI
- 5.2.2. Enfoque manejo adaptativo
- 5.2.3. Marco Conceptual para el Manejo Adaptativo para la Conservación de la Biodiversidad de la RFI
- 5.2.4. Plan General de Manejo Adaptativo para los diferentes Valores Objeto de Conservación, VOC
 - 5.2.4.1. Programa de Manejo Adaptativo de clases de vegetación
 - 5.2.4.2. Programa de Manejo Adaptativo para Jaguar (*Pantera onca*)
 - 5.2.4.3. Programa de Manejo Adaptativo para Águila arpía (*Harpía harpyja*)
 - 5.2.4.4. Programa de Manejo Adaptativo para macroinvertebrados
 - 5.2.4.5. Programa de Manejo Adaptativo para la Ictiofauna
- 5.2.5. Costos Estimados de los Programas de Manejo Adaptativo Propuestos
- 5.2.6. Valoración económica de la biodiversidad de la RFI
- 6. Conclusiones y Recomendaciones
 - 6.1. Conclusiones
 - 6.2. Recomendaciones
- 7. Bibliografía
 - Anexo 13.1.

Índice de Tablas

- Tabla 13.1. Formas de vida de las especies vegetales registradas en la RFI.
- Tabla 13.2. Superficie de las clases de vegetación de bosque húmedo tropical en la RFI
- Tabla 13.3. Superficie de las clases de vegetación de bosque siempreverde estacional en la RFI
- Tabla 13.4. Superficie de las clases de vegetación de bosque semisempreverde estacional en la RFI
- Tabla 13.5. Superficie de las clases de vegetación de bosque de pantano en la RFI

Tabla 13.6	Superficie de las clases de vegetación de los herbazales de pantano en la RFI.
Tabla 13.7	Superficie de las clases de vegetación de la sabana bien drenada en la RFI.
Tabla 13.8	Unidades Vegetales de la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 13.9	Lista de especies vegetales reportadas para la RFI en estudios realizados a partir del año 2007.
Tabla 13.10	Coefficiente de frecuencia del NDVI por clase de valores y NDVI para cada una de las unidades de vegetación en la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 13.11	Áreas potencialmente amenazadas en la RFI.
Tabla 13.12	Especies vegetales amenazadas en la Reserva Forestal Imataca
Tabla 13.13	Lista de plantas medicinales presentes en la Reserva Forestal Imataca.
Tabla 13.14	Macroinvertebrados acuáticos colectados en la cuenta de Cuyuní
Tabla 13.15	Riqueza de especies de peces reportadas para la cuenca alta del Río Cuyuní
Tabla 13.16	Herpetofauna de la cuenca alta del río Cuyuní
Tabla 13.17	Avifauna cuya distribución potencial incluye a la Reserva Forestal Imataca
Tabla 13.18	Número de aves migratorias en la Reserva Forestal de Imataca
Tabla 13.19	Mastofauna cuya distribución potencial incluye a la Reserva Forestal Imataca
Tabla 13.20	Aves y mamíferos con algún grado de amenaza presentes en la Reserva Forestal de Imataca.
Tabla 13.21	Comparación de las presas principales entre la cacería de subsistencia que practican los indígenas y campesinos colonos en selvas neotropicales: porcentaje de cada especie o renglón de la caza total, en números de animales recobrados y el peso total de los mismos
Tabla 13.22	Superficie de suelo sin cobertura vegetal en la zona sur de la Reserva Forestal Imataca. Período 1985 – 2018.
Tabla 13.23	Costos de las intervenciones contempladas en los programas conservación de la biodiversidad de la RFI

Tabla 13.24	Costos de funcionamiento y mantenimiento de las intervenciones contempladas en los programas conservación de la biodiversidad de la RFI
Tabla 13.25	Valoración económica de la conservación de la biodiversidad en la RFI

Índice de Figuras

Figura 13.1	Unidades de Vegetación de la Reserva Forestal de Imataca.
Figura 13.2	Macroecosistemas de la Reserva Forestal Imataca.
Figura 13.3	Localidades de muestreo de los inventarios vegetales en la RFI
Figura 13.4	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la RFI.
Figura 13.5	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la RFI, clasificado.
Figura 13.6	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Noroeste (RFI).
Figura 13.7	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Noreste (RFI).
Figura 13.8	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Central (RFI).
Figura 13.9	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Sur (RFI).
Figura 13.10	Área de afectación potencial para centros poblados, vía terrestres y vías fluviales
Figura 13.11	Área de afectación potencial para las concesiones forestales
Figura 13.12	Área de afectación potencial para las concesiones mineras
Figura 13.13	Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Número 37.560 del jueves 31 de octubre de 2002
Figura 13.14	Puntos de muestreo de fauna registrados en la base de datos GBIF
Figura 13.15	Aproximaciones a la toma de decisiones en sistemas naturales
Figura 13.16	Etapas del manejo adaptativo
Figura 13.17	Esquema del modelo de Manejo Adaptativo.
Figura 13.18	Pérdida de cobertura vegetal en el área sur de la Reserva Forestal Imataca. Período, 1985 -2015. Imagen a color.

- Figura 13.19 Pérdida de cobertura vegetal en el área sur de la Reserva Forestal Imataca. Período 1985 -2015. En negro, áreas sin cobertura vegetal.
- Figura 13.20 Pérdida de cobertura vegetal en la zona sur de la Reserva Forestal Imataca
- Figura 13.21 Actividades que determinan las principales amenazas a la diversidad biológica en la Reserva Forestal Imataca.
- Figura 13.22 Sector a implementar el programa piloto de conservación de la diversidad de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 14

Valoración económica de los Servicios Ecosistémicos Culturales de la Reserva Forestal Imataca

Índice de Contenido

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Marco teórico
- 3. Metodología para seguir para aplicar el método contingente en la valoración económica de los SE culturales en la RFI
 - Identificación de los SE culturales a valorar
 - Tipos de valores de los SE culturales identificados
 - Enunciado de la hipótesis para la valoración económica
 - Diseño de encuestas pilotos y definitiva
 - Estimación del tamaño de la muestra
 - Recolección de datos y procesamiento
 - Estimación de medidas de bienestar
 - Uso de los resultados
- 4. Limitaciones
- 5. Hallazgos y Resultados
 - Hallazgos y resultados generales

Hallazgos y resultados de las medidas de bienestar

Cálculo del valor de los SE culturales de la RFI

Conclusiones y Recomendaciones

Referencias Bibliográficas

Índice de Tablas

Tabla 14.1.	Población indígena de la RFI
Tabla 14.2.	Preguntas de la encuesta
Tabla 14.3.	Resultados de la DAP al monto ofrecido de los SE culturales de la RFI
Tabla 14.4.	Procedimiento de Kristrom
Tabla 14.5.	Base para determinar la mediana usando la regresión de mejor ajuste
Tabla 14.6.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 1
Tabla 14.7.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 2
Tabla 14.8.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 3
Tabla 14.9.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 4
Tabla 14.10.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 5
Tabla 14.11.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 6
Tabla 14.12.	Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 7
Tabla 14.13.	Codificación de las variables categóricas
Tabla 14.14.	Variables en la ecuación

Índice de Figuras

Figura 14.1.	Metodología usada para aplicar el método contingente en la valoración económica de los SE culturales en la RFI.
Figura 14.2.	Ubicación de la RFI
Figura 14.3.	Estados y municipios de la RFI
Figura 14.4.	Ubicación de las comunidades indígenas en la RFI
Figura 14.5.	Algunos elementos del Plan
Figura 14.6.	Ajuste Probabilidad de Sí vs. Monto

Acrónimos y Abreviaturas

ABRAE	Área Bajo Régimen de Administración Especial
ALC	América Latina y el Caribe
CC	Cambio Climático
CIS	Carbono Inorgánico del Suelo
COS	Carbono Orgánico del Suelo
CSC	Costo Social del Carbono
DAP	Disposición a Pagar
ESA	Agencia Espacial Europea
ETo	Evapotranspiración del cultivo de referencia
ETP	Evapotranspiración Potencial
GBIF	Global Biodiversity Information Facility (Infraestructura Mundial de Información sobre Biodiversidad)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IFLA	Instituto Forestal Latinoamericano
INAMEH	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
InVEST	<i>Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs</i>
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MARN	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales
MOS	Materia Orgánica en el Suelo
MVC	Método de Valoración Contingente
NDVI	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
ONG	Organización No Gubernamental
PFNM	Productos Forestales No Maderables
PIB	Producto Interno Bruto
Pmedia	Precipitación Media
RH	Rendimiento Hídrico
SE	Servicio Ecosistémico
SIG	Sistemas de Información Geográfica
USLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo
VAC	Valor Actual de los Costos
VOC	Valores Objeto de Conservación
VPC	Valor Presente de los Costos

Resumen Ejecutivo

Introducción

El Ministerio de Ecosocialismo, MINEC, en la República Bolivariana de Venezuela está recibiendo un financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) ejecutado a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y su representación en Venezuela, para la implementación del proyecto GCP/VEN/011/GFF - Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques bajo la Perspectiva Ecosocial, en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela.

El proyecto busca integrar la conservación de la biodiversidad, el manejo sostenible de la tierra y la mitigación del cambio climático en el sector forestal para lograr un manejo forestal sostenible a través de la innovación en el manejo de información, incentivos, gobernanza participativa, empoderamiento de las comunidades dependientes de los bosques y mecanismos múltiples para la recuperación de áreas boscosas bajo procesos de degradación en ecosistemas forestales representativos de Venezuela.

El proyecto consta de los siguientes componentes:

- Componente 1: Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF).
- Componente 2: Fortalecimiento de capacidades e instrumentos innovadores para el Manejo Forestal Sostenible.
- Componente 3: Restauración, conservación y MFS/MST de bosques en zonas afectadas por procesos de degradación.
- Componente 4: M&E del proyecto y disseminación de información.

En el marco del componente 1, específicamente en el producto 1.2, resultado 1.2.3 que indica la conformación de una base de datos de bienes y productos de la biodiversidad y ecosistemas foresta, incluyendo productos maderables y no maderables y su uso múltiple por comunidades locales; se contrató una consultoría para la elaboración de un protocolo de valoración ambiental y económica para la Reserva Forestal Imataca, RFI.

El objetivo general de la consultoría es diseñar y aplicar un protocolo para la valoración ambiental económica de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la reserva forestal Imataca.

Los objetivos específicos son:

- Determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor

de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.

- Realizar la valoración ambiental y económica de los impactos de un proyecto de conservación específico formulado para la RFI o en su defecto los lineamientos para realizar dicha valoración.
- Formular un procedimiento para valorar los daños ambientales actuales de la RIF.
- Capacitar y sensibilizar a funcionarios de instituciones y entes relacionados con los objetivos 1, 2 y 3 de la consultoría.

El presente resumen corresponde al objetivo 1 de *determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.*

Con dicha determinación se tienen elementos de juicio a la hora de tomar decisiones sobre la conservación de la Reserva por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible. Así mismo, conducir a la formulación de mecanismos de financiamiento, mediante incentivos económicos, para dicha conservación. Por otro lado, puede contribuir a alimentar sistemas internacionales de contabilidad ambiental y económica con miras a construir las cuentas nacionales de Venezuela.

En este orden de ideas, para alcanzar el objetivo 1 se usó la siguiente metodología general:

Preparación del trabajo a realizar

La preparación del trabajo a realizar buscó, mediante reuniones, exponer los objetivos de las valoraciones económicas a ejecutar para el cálculo de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca. Asimismo, se expuso la relación entre los valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) con los servicios ecosistémicos de los bosques y ecosistemas forestales referidos a provisión, regulación y servicios culturales. Como resultados de las reuniones se obtuvo una primera visión de los ámbitos de trabajo para alcanzar el objetivo 1; así como, de la identificación de los diferentes servicios ecosistémicos que se deben valorar, lo cual estuvo en parte condicionado por la información existente de la RFI.

Delimitación y caracterización de las áreas de la RFI donde se realizará la valoración ambiental económica (ámbito del trabajo).

Con base en la actividad anterior, revisión documental, consultas de servidores y diferentes páginas Web, se delimitaron las áreas preliminares de la RFI donde se realizó la valoración

ambiental económica. Esto se complementó con revisión documental de estudios de valoración económica ambiental existentes de la RFI para determinar las áreas de influencias de tales estudios. Asimismo, revisión documental sobre información existente de los servicios ecosistémicos de la RFI y sus áreas geográficas ayudados con reunión permanentes con los colaboradores para mostrarles los resultados de dichos estudios y las áreas contempladas; así como, delimitar las áreas de la RFI donde se realiza la valoración ambiental económica de acuerdo con sus intereses. En tal sentido, se delimitó la RFI y se reseñó el clima, geología, geomorfología, suelos, cobertura vegetal, hidrografía y megaecosistemas.

Un aspecto para resaltar en este capítulo fue el análisis de cambios de cobertura y uso del suelo y los conflictos de uso, de acuerdo con el ordenamiento vigente de la Reserva para los años 2000 y 2018.

Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Mediante una lista de chequeo se identificaron los servicios ecosistémicos presentes en el alcance geográfico delimitado en el punto anterior. Esta identificación es independiente de si se valoraban o no y que pudieran ser afectados por las decisiones individuales o colectivas de los agentes económicos. La identificación de los servicios ecosistémicos se realizó por categorías de valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) y su relación con los servicios de provisión, regulación y servicios culturales de los bosques y ecosistemas forestales.

Identificación y clasificación de los actores involucrados

Con base en el punto anterior se identificaron y clasificaron los agentes económicos que se benefician o no con el uso de tales servicios. Aquí se determinó la relación de los actores con los servicios si eran compradores, vendedores o proveedores de conocimientos

Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente

Con base en consultas a los actores involucrados, se priorizó para identificar cuáles servicios ecosistémicos deberían ser valorados económicamente. Entre los criterios propuestos para la priorización estuvieron: comparación de pares entre los diferentes servicios ecosistémicos; la importancia local, más allá de lo local nacional o internacional del SE y la proporción de actores involucrados en cada servicio ecosistémico de provisión, regulación y culturales. La priorización definitiva se realiza combinando los criterios y sumándolos.

La metodología comparación de pares consistió en comparar los SE en cada categoría. Para realizar la comparación se diseñó un instrumento que tiene las instrucciones y las correspondientes tablas para ejecutar la comparación. El instrumento fue enviado a algunos de los actores involucrados con los SE de la RFI.

Para estimar la importancia del servicio ecosistémico se asignaron los siguientes valores a las distintas categorías:

- Internacional: el SE es muy importante para la comunidad internacional, valor 4.
- Nacional: el SE es importante para todo el país, valor 3.
- Mas allá de lo local: la importancia del SE trasciende a los actores locales (debe identificarse si lo local se refiere a parroquias, municipios o estados), Valor 2.
- Local: el SE es muy importante para las comunidades locales asentadas en una parroquia, un municipio o un estado, Valor 1.

La Proporción de la participación de actores en los tipos de SE por categorías, se refirió a la cantidad de organizaciones involucradas por cada SE en las diferentes categorías. Se encuentra dividiendo la cantidad de organizaciones presentes en cada SE de una determinada categoría entre la cantidad total de organizaciones en cada categoría.

La priorización definitiva se consiguió, para cada SE en su respectiva categoría, sumando las proporciones de los diferentes criterios.

La descripción de los servicios ecosistémicos priorizados se ejecutó de manera cualitativa y cuantitativa (en la medida de lo posible) y acuerdo a la información disponible. La misma se realizó en la valoración ambiental y económica de cada servicio ecosistémico.

Identificación, selección y aplicación de métodos de valoración económica de recursos ambientales

Con base en información documental, usando la más reciente posible, se realizó una identificación, clasificación y descripción general de los diferentes métodos de valoración económica de los servicios ecosistémicos de bosques y reservas forestales. Así mismo, se hizo la selección preliminar de los métodos de valoración económica para los diferentes servicios ecosistémicos priorizados dependiendo de: el tipo de valor económico, condiciones necesarias para la aplicación del método, información requerida, disponibilidad de recursos financieros y tiempo disponible para realizar la valoración económica.

La aplicación se ejecutó para cada servicio ecosistémico priorizado y se presenta como capítulos separados por servicio. El capítulo contiene un resumen de la valoración ambiental y económica del servicio, una introducción, un marco teórico, las limitaciones presentadas, los resultados y hallazgos, las conclusiones y recomendaciones, la bibliografía consultada y los anexos de apoyo.

Se resalta que en la aplicación se analizaron los resultados obtenidos, los cuales pueden alimentar la base de datos del SINIIF; así como ayudar a la toma de decisiones sobre la conservación de la RFI, la planificación y diseño de políticas de la Reserva, la regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales, obtener mecanismos de financiamiento y por supuesto, la sensibilización ambiental.

El trabajo se estructuró en 14 capítulos para presentar el objetivo 1:

Capítulo 1. Introducción y objetivos.

Capítulo 2. Delimitación y caracterización general de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 3. Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 4. Identificación y clasificación de actores involucrados con los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 5. Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente.

Capítulo 6. Identificación, clasificación, descripción general y selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados.

Capítulo 7. Valoración económica del servicio ecosistémico madera de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 8. Valoración ambiental y económica de los productos forestales no madereros prospectivos de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 9. Valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 10. Valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 11. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico control de la erosión del suelo y sedimentación en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 12. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 13. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico conservación de la biodiversidad y especies en peligro de extinción en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 14. Valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales de la Reserva Forestal Imataca.

Principales resultados

Los principales resultados, así como las conclusiones y recomendaciones se presentan por capítulos.

Capítulo 2. Delimitación y caracterización de la RFI

La Reserva Forestal Imataca (RFI) está localizada en la región de Guayana. Las mayores porciones se encuentran ubicadas políticamente en los municipios Casacoima (4,1%) y Antonio Díaz (36,5%) del estado Delta Amacuro ocupando una superficie de 15 490,55 km² (40,6%), y los municipios Sifontes (54,6%), Padre Pedro Chien (4,5%), Piar (0,1%) y Roscio (0,2%) del estado Bolívar con una superficie de 22 663,51 km². La RFI ocupa una superficie de 38 154,06 km². Sus límites son:

- Norte: Río Orinoco, y área Norte del Municipio Antonio Díaz del estado Delta Amacuro,
- Este: Zona en Reclamación (sujeto al Acuerdo de Ginebra del 17 de febrero de 1966 y al Protocolo de Puerto España del 18 de junio de 1970).
- Sur: Sierra de Lema (Parque Nacional Canaima).
- Oeste: Puerto Ordaz, San Félix, Upata y El Palmar hasta el sector Norte; Tumeremo hacia el sector Central; y El Dorado y el río Yuruán hacia el sector Sur.

La precipitación anual en la RFI oscila según el período histórico de referencia entre los 1 700 y 1 900 mm. Los periodos de mínimas precipitaciones son febrero-marzo y los de máximas entre mayo y agosto, siendo el mes junio, el de mayor precipitación. La temperatura media anual es 25,7 °C. Las máximas térmicas se encuentran en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre; y Las mínimas entre diciembre-enero y junio-julio. La evaporación media anual varía entre 1 936 y 1 887 mm.

El análisis del balance hídrico indica un gradiente de precipitación y de climas húmedos que aumenta hacia el Noreste y Sureste de la RFI, donde no se presenta déficit hídrico durante el año. En el extremo Noroeste de la RFI y en el área de influencia de El Dorado se presentan los únicos sectores de climas estacionales con más de tres meses secos. En la RFI se identificaron 4 tipos de mesoclimas: hiperhúmedo, húmedo, subhúmedo húmedo y subhúmedo seco.

Trece subcuencas tienen influencia en la RFI. Sus áreas totales ocupan 11 374,36 Km². Las subcuencas del Cuyuní son: Yuruari, Supamo, Yuruan, Alto Cuyuní, Venamo-Cuyuní, Botanamo, Moracuani, Aguas Negras y Acarabisi. Las subcuencas del Delta del Orinoco son: Casacoima-Santa Catalina, El Toro-Río Grande, Aguirre y Cuyubuní.

La poca información de gastos señala un caudal medio de 13,7; 77,5 y 606 m³/s para las subcuencas Río Grande, Yuruari y Cuyuní, respectivamente. La cuenca del río Yuruari y paralela al centro de la RFI, puede presentar gastos muy bajos, cercanos a cero en los meses de estiaje.

El basamento geológico de la RFI corresponde, en su mayoría, a rocas muy antiguas asociadas a una gran cantidad de depósitos metálicos y no metálicos que pueden ser de gran interés económico: hierro, oro, platino, sulfuros polimetálicos, tierras raras, manganeso, diamantes, arcillas, caolín, mármol, dolomitas y rocas ornamentales, entre otros. Estas rocas pertenecen a las Provincias Geológicas de Pastora cuyas formaciones datan entre 2 700 a 2 000 millones de años M.a, conocida por su producción de oro; De Imataca representada por las rocas más antiguas conocidas -3 600 a 3 500 millones de años, caracterizada por la producción de hierro; y de

Roraima, productora tradicional de diamante y en menor cantidad de oro, con formaciones cercanas a los 1 700 millones de años. En orden de abundancia, las rocas pertenecientes a la Provincia Pastora ocupan el primer lugar dentro de la RFI con 63,1% del área total, seguido por aluviones, 19,7%, y las litologías propias de Imataca, 12,6%. La Provincia Roraima ocupa solamente el 2,8% y las intrusivas márficas, el 1,9% del total.

Desde el punto de vista geomorfológico el rango altitudinal oscila entre los 0 y 1 144 msnm con altitud promedio de 162 msnm. Las pendientes oscilan entre 0 hasta más del 50%, con promedio de 8%. Predomina la unidad de paisaje característica de lomeríos bajos, medios y altos moldeados por las condiciones climáticas y de escurrimiento que fracturan el relieve, generando desniveles con gradientes escarpados característicos de planos interlomales y desniveles topográficos, Representan un 52,43% de la superficie de la RFI con suelos ultisoles, entisoles y alfisoles.

Los porcentajes de distribución espacial de los órdenes de suelo son: Ultisol (73,18%), Entisol (16,71%), Histosol (2,37%), Inceptisol (1,25%), afloramientos rocosos (4,59%) y áreas sin información (1,90%).

Actualmente, la cobertura boscosa ocupa un 95,99% de la superficie de la RFI. El bosque húmedo tropical ocupa la mayor extensión (61,92%), seguido por: bosque de pantano (16,27%), bosque siempreverde (11,73%), bosque degradado (5,60%), bosque decíduo (0,25%) y bosque de inundación mareal (0,22%).

Los sistemas ecológicos a nivel de macroecosistemas son: los del Delta del Orinoco y los del escudo Guayanés.

De la superficie total que ha sufrido cambios de cobertura y usos del suelo, entre los años 2000 y 2018, los más relevantes se refieren a: bosque húmedo tropical a bosque degradado (801,86 km²), bosque húmedo tropical a minería (320,80 km²), Bosque siempreverde a cultivos (94,97 km²), Bosque siempreverde a bosque degradado (73,30 km²) y Bosque húmedo tropical a cultivos (50,98 km²).

Los conflictos del uso forestal se realizaron a través de la superposición de las unidades del bosque degradado con las unidades de ordenamiento. El conflicto está presente en una superficie de 1 410,08 ha. Los conflictos de uso se refieren a la ubicación de la explotación del bosque nativo en la Zona de Recuperación (ZR) con un 89% y 11% en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG).

Al comparar el uso minero identificado para el año 2018 en relación con las unidades de ordenamiento de la RFI, puede observarse que existe conflicto de uso en 19 417,45 ha. La mayoría de los conflictos de uso se refieren a la ubicación de la minería en algún tipo de zona que incluya el manejo forestal: ZMEFAPCI 1, ZMEFAPCI 2, ZMF y ZMFL; todas ellas ocupan una superficie de 84%. Un 9% se ubica en Zonas de Reservorio de Genes (ZRG 1, 2 y 3), 6% en Zonas de Recuperación (ZR) y 1% en la Zona de Protección (ZP 2).

Las zonas de conflicto del uso agrícola se determinaron a través del criterio de superficie, considerando las áreas mayores a 2 ha. La distribución espacial del conflicto ocupa 27 595,82 ha, la mayor superficie (59%) se ubica en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEAF); el 20% en la Zona de Manejo Forestal (ZMF); 7% en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI); 7% en la Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL); 6% en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG 1) Sub-zona del Delta Inferior y 2% en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI 1) Sub-zona localizada en el eje carretero Tumeremo-Bochinchito.

El uso pecuario está prohibido en la RFI. Las zonas de conflicto por el uso pecuario ocupan 6 075,21 ha. 65% en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEAF); 20% en la Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL); 14% en la Zona de Manejo Forestal (ZMF) y 1% en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI 1) Sub-zona localizada en el eje carretero Tumeremo-Bochinchito.

Al integrar los diversos conflictos por usos dentro de los límites de la RFI, se obtiene una superficie total de 54 112,39 ha. Los porcentajes se distribuyen de la siguiente manera: cultivos (51%), minería (36%), uso pecuario (11%) y uso forestal del bosque nativo (2%). Al comparar este valor (54 112,39 ha) con el área total de la RFI, se obtiene un área de conflicto del 1,4%.

Capítulo 3. Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Se identificaron servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales. Estos se relacionaron con los valores pertenecientes al valor económico total.

Los valores de uso directo extractivo de los servicios ecosistémicos de provisión identificados fueron: madera; madera como combustible; productos forestales no madereros (frutos, fibras, lianas, medicinas, látex, resinas, aceites vegetales, alimentos, extractores de toxicidades) y agua.

Los valores de uso directo no extractivo fueron los siguientes servicios ecosistémicos culturales: servicios espirituales y religiosos; recreación y ecoturismo; bellezas escénicas; paisajes; inspiración; estudios; investigación; educación; sensación de placer.

Los valores de uso indirecto fueron los siguientes servicios ecosistémicos de regulación: atrape y almacenamiento de carbono; regulación del clima; regulación de los flujos de agua, esto es mantenimiento de flujos en la época seca y control de inundaciones; control de la erosión del suelo y sedimentación; mantenimiento de la calidad del agua por minimización de deposición de sedimentos, nutrientes (fósforo y nitrógeno), químicos y salinidad; reducción de la salinización de las tierras; mantenimiento de hábitats acuáticos; polinización; control de enfermedades.

Los valores de opción de los servicios ecosistémicos de provisión fueron: productos forestales no madereros prospectivos; recursos genéticos.

Los valores de opción de servicios ecosistémicos de regulación fueron: Conservación de la biodiversidad: genes, especies y ecosistemas.

Los valores de no uso de legado de servicios ecosistémicos culturales fueron: herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques; preservación del idioma Kariña.

El valor de no uso de existencia del servicio ecosistémico de regulación fue conservación de especies en peligro de extinción.

Capítulo 4. Identificación y clasificación de actores involucrados con los servicios ecosistémicos de la RFI.

Los actores se clasificaron en:

- Compradores: aquellos que son beneficiarios de los SE y que por lo tanto están dispuestos a pagar por estos para salvaguardarlos, mejorarlos o restaurarlos.
- Vendedores: encargados de la gestión de los SE para garantizar su disponibilidad a los compradores.
- Intermediarios: aquellos encargados de relacionar a los compradores con los vendedores.
- Proveedores de conocimientos: incluye a los expertos en el manejo de los SE, especialistas de valoración ambiental y económica de los SE, planificadores del uso de la tierra, reguladores, comerciantes, consultores legales, quienes proveen conocimientos esenciales a los tres grupos anteriores.

Los principales actores identificados, tanto públicos como privados, nacionales e internacionales, como compradores fueron: Aserraderos de Upata, Guasipati y Tumeremo; Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos; Empresa explotadora de palmito; Mineros artesanales y empresas de concesiones mineras; Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco; Población Tumeremo; Fondo cooperativo para el carbono de los bosques; Programa ONU REED; Fondo Bío Carbono; Empresas internacionales de estímulo para el control del cambio climático; Banco Interamericano de Desarrollo-Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos; Iniciativa global de economía de ecosistemas y biodiversidad; Federación indígena del estado Bolívar; Empresas turísticas que promueven la veeduría de aves.

Los principales actores identificados, tanto públicos como privados, nacionales e internacionales, como compradores y proveedores de conocimientos fueron: Universidad de los Andes; Universidad Nacional Experimental de Guayana; Universidad Central de Venezuela.

Entre los proveedores de conocimientos están: Instituto Forestal Latinoamericano; Global Environmental Facility, GEF, (Fondo Mundial del Ambiente); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.

Entre los vendedores se identificaron: ENAFOR; MINEC; CONARE; Misión Árbol; Ministerio de las Aguas.

Capítulo 5. Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente.

Los servicios ecosistémicos priorizados fueron:

Provisión: Rendimiento hídrico (agua), Madera y productos forestales no madereros.

Regulación: Atrape y almacenamiento de carbono, regulación de los flujos de agua, control de la erosión del suelo y sedimentación, mantenimiento de la calidad del agua, conservación de la biodiversidad y de especies en peligro de extinción.

Culturales: recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, estudios e investigación, educación, herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

Capítulo 6. Identificación, clasificación, descripción general y selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados.

Los servicios ecosistémicos priorizados se clasificaron según su tipo de valor para ayudar a la selección de las técnicas de valoración potenciales a usar. Seguidamente, se identificaron y clasificaron las diferentes técnicas de valor expuestas en la literatura más reciente. Se describen de manera general a las siguientes técnicas: métodos de los precios de mercado, métodos de costos de prevención, corrección, mitigación o compensación; así como costos de reemplazo, costos de sustitución, costos de relocalización, proyectos sombra y costo eficiencia. Se proporcionan unas palabras de caución sobre el uso de las técnicas basadas en costos anteriores. Se describen las técnicas de costo de oportunidad, función de producción, costo de enfermedades, costos de viaje, precios hedónicos, valoración contingente, experimentos de selección y transferencia de beneficios.

Se señala que los principales factores a tomar en cuenta para seleccionar una técnica son:

- El SE a valorar.
- El tipo de valor del SE (uso, no uso, opción).
- El propósito de la valoración.
- La disponibilidad y facilidad de acceso a los datos necesarios.
- Calidad de los datos.
- Limitaciones técnicas, tiempo y presupuesto.

Con base en lo anterior se realizó una selección preliminar de la técnica de valoración económica a usar según el servicio ecosistémico priorizado. El resultado fue:

Para madera, valores de mercado. En el caso de productos forestales no madereros prospectivos, se recomienda valoración contingente, precios de mercado y transferencia de beneficios. Para agua (rendimiento hídrico y regulación de flujos de agua), valores de mercado, costos de reemplazo, función de producción, transferencia de beneficios. Atrape y almacenamiento de

carbono, valores de mercado, transferencia de beneficios. Control de la erosión del suelo y sedimentación, costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación, costos de reemplazo o transferencia de beneficios. Mantenimiento de la calidad del agua, costos de sustitución; costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación, valoración contingente y transferencia de beneficios. Conservación de la biodiversidad, valoración contingente; costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación o transferencia de beneficios. Conservación de especies en peligro de extinción, valoración contingente; costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación o transferencia de beneficios. Recreación y ecoturismo costo de viaje o valoración contingente.

Para bellezas escénicas y paisaje, estudios e investigación, educación, herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma Kariña, valoración contingente o transferencia de beneficios.

Capítulo 7. Valoración económica del servicio ecosistémico madera de la Reserva Forestal Imataca.

Un producto forestal maderable es aquel que proviene de la vegetación forestal, principalmente de la parte leñosa de tallos y ramas de arbustos y árboles. Los PFM se clasifican en primarios, secundarios, productos de valor agregado y de alto valor agregado.

Las rolas y la leña pertenecen al primer grupo. La basa es cuando se les hace proceso a las rolas para su transporte y comercialización. La transformación de rolas a basa, generalmente, se estima un 40% de pérdida de madera.

En la RFI, la producción de madera en rolas proveniente de la Unidad V, años 2013 al 2016, fue de 42 605,56 m³, de los cuales el 39,1% provino de la unidad de explotación Santa María I y el 60,9% de Santa María II. La especie más explotada fue el Mureillo, seguida de Purguo. Las superficies de los compartimientos de ambas unidades de explotación son 2 741,25 y 3 575,92 hectáreas, para las unidades Santa María y II respectivamente. Para el periodo analizado, el promedio anual sería de 10 651,39 m³, lo que representaría 1,69 m³/ha de explotación anual.

Revisando los inventarios de los Planes Forestales Operativos de las unidades Santa María I y Santa María III, el potencial de explotación anual de madera en rolas de ambas unidades, por compartimientos, son 7,15 y 7,01 m³/ha, lo cual representa un promedio de 7,08 m³/ha de potencial. Es decir, existe una subutilización del potencial forestal en la RFI.

De acuerdo con los inventarios mencionados anteriormente, se determinó que el 40,6% pertenece a madera de alto valor comercial, el 27,4% de medio valor comercial y el 32% de bajo valor comercial.

La valoración económica de la madera se realiza generalmente usando la técnica de precios de mercado. Se orientan principalmente a análisis de costo beneficios. Dependen mucho de la

cantidad y calidad de información para derivar los costos y beneficios de la explotación de madera.

Para la estimación de los costos se realizaron los siguientes supuestos:

- La empresa que realiza la explotación y aprovechamiento de la madera, Madera Bosco C.A, sigue para su estructura de costos, las mismas actividades propuestas en los Planes Operativos Forestales propuestos para las áreas Santa María I y III de la RFI.
- La estructura de costos presentada por la Empresa se puede extrapolar a las áreas de aprovechamiento y explotación de madera de la RFI.
- Manteniendo un criterio conservador, se asumió que la Empresa puede explotar anualmente 9 000 metros cúbicos en rolas en un compartimiento de 2 500 hectáreas.
- El dato anterior es fiable para la obtención del costo anual por hectárea, lo cual puede ser comparado con los correspondientes beneficios.
- Los costos unitarios de cada actividad del Plan Operativo Forestal se asumen los más cercanos a la realidad para el año 2019.

Para la estimación de los beneficios anuales por superficie se asumieron las siguientes hipótesis:

- El rendimiento por superficie proviene del promedio propuesto para las Unidades Santa María I y III de la Unidad V de la RFI.
- Este rendimiento puede ser extrapolado a las superficies explotables de madera de la RFI.
- Los precios en basa de las maderas de alto, medio y bajo valor corresponden a 600, 500 y 400 USD/m³ respectivamente.
- Existe una pérdida de 40% al pasar de rola a basa la madera.
- Los porcentajes de cada categoría de madera por superficie son 40,6% para las de alto valor; 27,4% para las de medio valor y 32% para las de bajo valor.

De lo anterior se estima entonces un costo unitario anual de 684,00 USD/ha. Los beneficios anuales están representados por los ingresos de 2 159,63 USD/ha. Los beneficios netos anuales vienen de la diferencia entre los ingresos anuales y los costos anuales ((2 159,63 – 684,00) USD/ha). Es decir, 1 475,63 USD/ha.

La principal limitación encontrada fue la falta de información de los costos y beneficios actuales de la explotación y aprovechamiento de madera bajo el enfoque de Planes Operativos Forestales en la RFI. Además, existe solo una empresa explotando y aprovechando madera en la RFI: Madera Bosco C.A.

Capítulo 8. Valoración ambiental y económica de los productos forestales no madereros prospectivos de la Reserva Forestal Imataca.

Los productos forestales no maderables, PFNM, son servicios ecosistémicos de provisión que se obtienen de los bosques distintos a la madera. En la RFI, los PFNM están compuestos primordialmente por artesanías, alimentos y aditivos alimentarios, medicinas, semilla y nueces, fibras, látex y resinas, forrajes, frutos, taninos y colorantes, ornamental y materiales de construcción.

Existe muy poca comercialización de los PFNM prospectivos de la RFI. Los de mayor potencial son semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje.

Se asumió que la sarrapia y el aceite de copaiba pueden ser representativos de los PFNM de la RFI.

Utilizando el método de transferencia de beneficios se estimó el valor económico de la sarrapia y el aceite de copaiba de la RFI. Cuando se usa un precio por kilo de sarrapia en la RFI de 0,7 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico de la sarrapia es 17,5 USD/ha al año. Si se usa un precio por litro de copaiba de 0,75 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico del aceite de copaiba es 0,15 USD/ha al año.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los PFNM prospectivos tuvieron que ver con: no existen estudios de comercialización de los PFNM prospectivos en la RFI. La poca comercialización que existe de los PFNM prospectivos de la RFI es a nivel local. Las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas afectaron el acceso a más información. La escasez de gasolina contribuye a reducir el acceso a más información. La explotación de productos como el látex en la Reserva ha disminuido progresivamente en el tiempo, siendo sustituido por productos sintéticos, por lo cual no hay información actualizada sobre su comercialización.

Capítulo 9. Valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua en la Reserva Forestal Imataca.

Los rendimientos hídricos y la regulación de los flujos de agua son dos de los principales servicios ecosistémicos brindados por la Reserva Forestal Imataca. Valorar ambiental y económicamente ambos son de suma importancia. Sin embargo, la falta de información para el segundo imposibilita su valoración.

Para valorar ambientalmente el rendimiento hídrico, se usó una marcha metodológica que observa tanto las estimaciones a nivel local para la reserva, como aquellas propuestas de simulación a nivel nacional y mundial para los diferentes parámetros que requiera la estimación de la Precipitación Media (Pmedia) y sus distribución espacial; la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), la Evapotranspiración Potencial (ETP), y los requeridos por el algoritmo de cálculo del rendimiento anual utilizado.

Para la estimación de los campos de precipitación promedio a emplear, se revisaron las tendencias históricas asíncronas, que permitieron observar la distribución espacial de la misma registradas en algún momento por estaciones operativas o no. Esto dio una idea de la posible distribución espacial histórica.

Luego de observar los campos asíncronos, se determinaron datos de precipitación para periodos comunes desde 1971 hasta el año 2000. Esto se realizó con la finalidad de comparar aquellos resultados obtenidos del ensamble de los modelos Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5, utilizados en la Segunda Comunicación de Cambio Climático del país. Luego de comparar el ensamble, se ajustó el mismo a los resultados históricos observados para las estaciones en tierra. Se observó que, los resultados representan de manera significativa, las tendencias espaciales de precipitación representada por los mapas asíncronos para la RFI. En la cual, se visualizan, centros de tormenta al Noreste y Suroeste de la Reserva, así como una zona central de baja precipitación. El valor medio anual de la misma para la RFI, es de 1 803 mm/año.

Para la estimación de la ETo, se recurrió a las mediciones históricas en tierra, a partir de tres estaciones Upata (3994), Tumeremo-Aeropuerto (4974) y Anacoco (5911), las cuales cuentan con suficientes datos para realizar la estimación de la ETo mediante la expresión de Penman-Monteith. Se utilizó el Software de libre uso desarrollado por la FAO, denominado Eto-Calculator V 3.2. Así pues, debido a que también se disponían de simulaciones de campos de temperatura a partir de los modelos Eta-MIROC5 y Eta-HadGEM2-ES, estos se utilizaron y se adaptaron igualmente a los valores históricos observados para la RFI

Los campos de temperatura, se utilizaron como insumo base para la estimación de la ETo a partir de la expresión de Hamon, la cual, usa solo campos de temperatura y de latitud para efectuar las estimaciones de ETo. Esta expresión se propuso igualmente en el software HydroBID que la considera adecuada para la estimación de ETo.

Sin embargo, debido a que se puede mejorar la estimación de la Eto mediante correlaciones de las estaciones de referencia ya mencionadas, se procedió a las estimaciones de dichas correlaciones, observándose que las mismas obtiene coeficientes de determinación (r^2) superiores a 0,90, considerandos buenos. Con base en lo anterior, se obtuvieron entonces campos de ETo equivalentes a Penman-Monteith (PM) para toda la RFI, realizando adicionalmente un pequeño ajuste de tipo logístico para la posición del píxel en latitud. Esto permitió una representación mucho más fiel de la transformación a ETo-PM.

Los valores de ETo obtenidos para la RFI (1 609 mm/año), se compararon con fuentes de datos internacionales, encontrándose que solo difieren en un 4%, de aquellos reportados por Trabucco y Zommer del año 2018, y calculados para la RFI en 1 673 mm/año.

Con la finalidad de transformar la Eto a ETP, se estimaron los valores cultivo de referencia mediante tres vías: a partir de coberturas obtenidas de la base de datos AHDDTool, mediante respuesta espectral promedio a partir de datos de Índice de Diferencia de Vegetación Normalizados (NVDI) y asignando valores de Kc para las diferentes coberturas, a partir del levantamiento,

procesamiento en interpretación de imágenes LandSat, con resolución de píxel de 30 m x 30 m para los años 2000 y 2018 y clasificadas según el IPCC del año 2004.

Se realizó igualmente un análisis con base en índices de sequías propuestos en la literatura y se aplicaron al dominio de la RFI. Se demostró que existe una zona central de bosque que pudiera estar sometida a menor rendimiento debido a las restricciones climáticas y aquellas bien definidas al Noreste y Suroeste que son de mayor producción.

Una vez definidos los parámetros necesarios, se utilizó el modelo InVEST V. 3.2.8, como software de apoyo para estimar la distribución espacial del rendimiento. InVEST a su vez, determinó el rendimiento anual mediante la expresión de Budyko del año 1974.

Se subdividió la RFI en 13 subcuencas en acorde con el componente Recursos Hídricos que forma parte de la asesoría que se realiza para la FAO. A estas se les determinó el rendimiento hídrico, observando los contrastes en rendimiento para cada una, tanto para el año 2000 como para el 2018. El cambio, o disminución de coberturas incidió en una menor evapotranspiración potencial a su vez un aumento del rendimiento anual.

Se comenta que un aumento en el rendimiento anual por disminución de K_c , no quiere decir necesariamente que la condición hídrica para las subcuencas mejore, al contrario, aumenta el rendimiento en flujos rápidos que ocasionan aumentos tanto en la producción de sedimentos y flujos que dejan de infiltrar, perturbándose la oferta hídrica en épocas de estiaje o verano, los cuales son indispensable para el desarrollo y provisión del mismo para usos tales como provisión de agua potable, sostenimiento de actividades agropecuarias y mantenimientos de hábitats, entre otros.

Se destacó la alta sensibilidad que tienen los leves cambios de uso en las diferentes subcuencas, resaltándose la alta elasticidad o sensibilidad que tiene el mismo a leves cambios en las coberturas. Así pues, para las zonas húmedas, un cambio porcentual de coberturas de 1% tiene una elasticidad en el rendimiento (Y) de 2,3% y para zonas de menor precipitación y valores de $RH-Y$ que oscilan entre 5% a 6%.

Finalmente, se determinó la influencia de los cambios porcentuales de coberturas en el dominio de la RFI, observándose valores en el mismo orden de magnitud de los arriba señalados. Los valores diferenciales de rendimiento para cada cobertura, permitió aplicar metodologías de valoración económica del RH mediante varios enfoques de cálculo. Se encontró que:

- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Venezuela de 17 VES para el año 2018, corresponde a 0,019; 0,015; 0,001; 0,004; 0,009 y 0,008 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Colombia de 33 156 COL, para el año

2018, corresponde a 71,09; 55,78; 5,45; 15,93; 32,86 y 29,87 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Perú de 4,15 PEN, para el año 2018, corresponde a 8,58; 6,73; 0,66; 1,92; 3,97 y 3,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Sánchez (2005) corresponde a 6,58; 5,16; 0,5; 1,47; 3,04 y 2,76 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Aylward y otros (2010) corresponde a 77,40; 60,73; 5,93; 17,34; 35,78 y 32,52 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a asentamientos humanos, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 74,87; 91,54; 146,33; 134,92; 116,49 y 119,75 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a minería, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 109,73; 126,40; 181,20; 169,78; 151,35 y 154,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

De acuerdo con las limitaciones encontradas se recomendó reinstalar el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos. Usar la consideración de los valores encontrados como referencia para futuras investigaciones que impliquen levantamientos de información primaria en campo. Efectuar estudios para la valoración de las aguas subterráneas en los macizos cristalinos a encontrar en la RFI. Realizar un estudio similar usando escenarios de cambio climático. Ampliar la aplicación de la valoración económica del rendimiento hídrico usando métodos de conservación de las cuencas. Reaplicar el método de contraprestación por aprovechamiento usando una Unidad Tributaria para Venezuela más acorde con la economía real del país.

Capítulo 10. Valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la RFI.

El atrape y almacenamiento de carbono es uno de los principales servicios ecosistémicos presente en la Reserva Forestal Imataca. Su valoración ambiental y económica fue realizada usando el programa InVEST 3.6.0, modulo secuestro y almacenamiento de carbono.

La valoración se realizó para los años 2000 y 2018, de modo de conocer el carbono almacenado para diferentes coberturas del suelo para esos años; así como la diferencia entre ambos períodos.

El programa fue alimentado con los mapas de uso del suelo de ambos años; así como, el valor de sumideros de carbono de biomasa aérea, subterránea, materia orgánica muerta y el suelo.

Por otro lado, al modelo se proporcionó la información del valor del mercado de la tonelada de carbono; así como, la tasa de descuento para calcular el valor económico del carbono.

Para este estudio se utilizó el valor de 20,30 USD/t C. Para la tasa de descuento del precio de carbono, r , se tomó la tasa de descuento social del 4%. En cuanto a la tasa anual de variación del precio del carbono, c , se asumió una tasa del 0%.

Desde el punto de vista de la valoración ambiental, el programa arrojó que para el año 2000, el carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo fue de 1 168 499 449,2 t C; de los cuales, 674 943 312,2 t C (57,8%) corresponden a la biomasa viva y 425 925 240,8 t C (36,5%) corresponden al carbono orgánico en el suelo. Por otro lado, se tiene que 802 973 624,6 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 68,72%; el bosque de pantano tiene 175 948 901,2 t C representando el 15,06% y el bosque siempreverde cuenta con 146 806 043,8 t C representando el 12,56%.

Para el año 2018 se observó que el carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, fue de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales, 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo. Asimismo, de ese total, se tiene que, 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representando el 15,33% y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%. Como se observa ha disminuido el carbono en el bosque húmedo tropical entre ambos años.

Desde el punto de vista de la valoración económica, el modelo indicó que la Reserva Forestal Imataca tiene un valor de servicio ecosistémico de atrape y almacenamiento de carbono de 23 419 898 202 USD. De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 (11,1%) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 (36,8%) al carbono en el suelo. La cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.

Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para la comparación del período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono por causas de cambio en el uso del suelo. Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono. El valor anterior significa una pérdida del 0,7 por mil del valor del SE en la Reserva.

Los resultados deben tomarse como órdenes de magnitud debido a las desventajas del modelo y por la carencia de información de campo para corroborar las estimaciones teóricas.

Por otro lado, se recomienda, realizar mediciones periódicas del almacenamiento de carbono, principalmente en biomasa aérea en diferentes coberturas de la RFI. Ejecutar un estudio semidetallado de suelos en la RFI. Usar otros precios referenciales de valor económico de la tonelada de carbono. Ejecutar análisis de sensibilidad para diferentes tasas de descuento para estimar el valor del secuestro de carbono.

Aunque el modelo InVEST tiene varias ventajas también posee limitaciones: No considera dentro de los sumideros, una variabilidad en la capacidad de retención de C por cada especie vegetal en los diferentes usos del suelo. Es decir, el modelo considera una tasa constante de secuestro y almacenamiento de carbono para cada uso del suelo. En los datos ingresados, no se considera factores naturales como incendios, precipitación, altitud y edad de los bosques. El modelo no considera la sucesión natural de los bosques. Es decir, no toma en cuenta una recirculación entre los sumideros de C, cuando las especies forestales terminan su ciclo y se degradan.

Capítulo 11. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico control de la erosión del suelo y sedimentación en la Reserva Forestal Imataca.

El servicio ecosistémico control de la erosión del suelo y sedimentación es de regulación, clasificado como valor de uso indirecto.

Para valorar ambientalmente el servicio, se identificaron cada una de las subcuencas aportantes de sedimentos en la RFI. Seguidamente, se estimaron los valores K, R, LS, C y P para aplicar la USLE en las subcuencas. A continuación, se calcularon las diferentes tasas de erosión de las subcuencas. Se prosiguió con el cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las distintas subcuencas. Luego, se clasificaron las subcuencas de acuerdo con su tasa de erosión. A partir de allí, se seleccionaron las subcuencas donde se realizó la valoración económica. Seguidamente, se estimó la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas. A continuación, se procedió a valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas y finalmente, se discutieron los resultados.

Para el caso específico de la RFI, en cuanto a erosividad de la lluvia o Factor R, se calculó con información pluviométrica generada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Asimismo, los otros factores considerados como son el factor de erosionabilidad del suelo (K), el factor topográfico (LS) y el relacionado con la cobertura vegetal y de manejo (Factor C), fueron obtenidos de la base de datos del modelo HydroBID. El factor P que se relaciona con las prácticas de conservación, se asumió un valor constante de 1 debido a la ausencia de estas.

Para cada uno de estos factores se planteó un conjunto de polígonos de similar tamaño, para de esta forma conformar la base de cálculo, en donde se representó un valor de cada elemento (R, K, LS, C) para diferentes polígonos de igual centroide y dimensión, en la que luego de la aplicación de los productos de los polígonos se obtuvo el valor de la erosión.

La contextualización y aplicación del modelo de pérdida de suelo en la RFI representó la valoración ambiental de la erosión en la Reserva.

Luego de estimar las tasas de erosión de las diferentes subcuencas, se procedió a calcular el aporte de sedimentos en las confluencias de los ríos que componen las mismas a través de un coeficiente de entrega, esto incluyó a las subcuencas del río Coyuní y aquellas que drenan hacia el río Orinoco.

Siendo el bosque el principal protagonista, se formuló un conjunto de escenarios de cobertura que dio a conocer el comportamiento de la erosión para cada uno de estos contextos. A partir de allí se procedió a evaluar y valorar ambiental y económicamente situaciones actuales y futuras.

Las subcuencas aportantes a la RFI se dividen en dos: subcuencas de Coyuní y las del Delta del Orinoco. En la primera están: Yurauri, Supamo, Yuruan, Alto Coyuní, Venamo Coyuní, Botanamo, Moracuani, Aguas Negras y Acarabisi. En la segunda: Casacoima a Santa Catalina, Río Grande, Aguirre y Coyubuni.

Las tasas de erosión de las dos subcuencas son 12,10 y 14,22 t/ha al año para Coyuní y Delta respectivamente. En la RFI la tasa de erosión es 14,68 t/ha al año. Todas se consideran tasas de erosión moderada.

Del conjunto de las trece subcuencas 6 de las subcuencas presentan una tasa de erosión ligera o nula con valores entre 2,55 t/ha al año a 9,02 t/ha al año; del resto, su clasificación es de erosión moderadas con un mínimo de 11,04 t/ha al año hasta 30,44 t/ha al año, siendo el promedio total para las trece subcuencas de 12,82 t/ha al año.

Las subcuencas seleccionadas para realizar la valoración económica fueron las del Delta pues tiene clase de erosión superior a la ligera, afectan al Canal del Orinoco y están completamente dentro de la RFI.

El valor actual del servicio ecosistémico control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina es 11,98; para Aguirre, 4,92; para Río Grande, 10,52 y para Coyubuni, 2,03 USD/ha al año.

Los valores se incrementarían enormemente si se quiere reemplazar una hectárea de la situación actual de bosque por una de cultivo de cobertura media. El cambio sería de 2 983,41; 1 001,02;

1 940,64 y 388 USD/ha al año para las subcuencas Casacoima a Santa Catalina, Aguirre, Río Grande y Coyubuni, respectivamente.

Las recomendaciones del trabajo indican usar los valores estimados anteriormente como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos para el estudio. Así como, si se va a trabajar con una escala más detallada, realizar los estudios de campo respectivos para determinar a nivel de campo la pérdida de suelo por erosión, a través de unidades de investigación

Capítulo 12. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua de la Reserva Forestal Imataca.

El servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua brindado por la RFI es de gran importancia. Para realizar la valoración ambiental y económica se usó la técnica de costos evitados, asumiendo que, si se realizan las obras de control de la contaminación por mercurio, otros contaminantes y sedimentos, se evitan los costos de degradación de los cursos de agua de la Reserva. En otras palabras, las obras de control de la contaminación substituyen el servicio ecosistémico de mantenimiento de la calidad del agua que provee la RFI, a su vez evitando los costos de la degradación del recurso hídrico.

El capítulo se abordó desde dos puntos de vista: el primero de ellos, relacionado con la afectación de la calidad del agua por la presencia de mercurio y otras especies contaminantes, producto de la actividad minera aurífera; y, por otra parte, por la contaminación de los cauces por efecto de los sedimentos producidos en las partes altas y medias de las trece subcuencas que surcan la RFI.

Para la cuantificación de las liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca: se empleó la metodología desarrollada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), basada en la utilización de matrices de categorización y factores por defecto de entrada y de distribución de las salidas. Con este procedimiento, se determinó que, en la RFI, para el año 2017, se liberaron 26 450,00 kg Hg/año, distribuidos en 15 870,00 kg Hg/año liberados al aire; 5 290,00 kg Hg/año liberados al agua y 5 290,00 kg Hg/año liberados al suelo.

Para el primer punto de vista se formuló un sistema de tratamiento de aguas residuales que permitieran mitigar la contaminación generada por mercurio y otros contaminantes, luego conocer los costos de ese sistema, lo que permitió valorar este servicio ecosistémico a través del método de costos evitados.

Se determinaron las aguas residuales provenientes de la actividad minera a depurar en el sistema de tratamiento propuesto para la RFI: estimada a partir de la transposición de datos de otros sistemas de explotación aurífera que operan bajo condiciones similares y de la cuantificación de la liberación de mercurio en el agua. Con ello, se determinó que en la RFI se generan en 8 120 m³/d. Por tanto, se propuso la construcción de 25 PTAR para tratar toda el agua usada

por la actividad minera de la RFI, lo que implicaría un caudal de operación (*Qoperac*) para cada una de 325 m³/d.

Se realizó un diseño preliminar del sistema de tratamiento propuesto para la depuración de las aguas residuales provenientes de la actividad minera en la RFI: se propuso un tren de tratamiento con las etapas de pretratamiento (rejillas de desbaste, el desarenador y el medidor de caudal), tratamiento primario (sedimentador primario) y tratamiento terciario (humedal construido de flujo subsuperficial horizontal, HFSSH). Con base en los diseños realizados en la literatura, que dimensiona los equipos en función de la población servida, se tomó el dimensionamiento del sistema que opera entre 40 y 760 m³/d de agua servida.

El área del Arco Minero dentro de la RFI es de 23 085,13 Km². Los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento de cada sistema son 286 375,5; 7 362; 29 286 y 1 970,5 USD, respectivamente.

El Valor Presente de los Costos para cada sistema de tratamiento de control de la contaminación por mercurio y otros contaminantes fue de 549 400 USD. El Costo Anual Equivalente es de 80 665,37 USD/año.

Usando la superficie del Arco Minero del Orinoco y el costo de las 25 unidades de tratamiento, se obtuvo un valor de 6 USD/ha. Asimismo, de acuerdo con el volumen de agua tratado, el costo es de 0,7 USD/m³. Ambos costos son referentes al costo de mantenimiento de la calidad del agua para el control de la contaminación de mercurio y otros agentes.

Para el segundo punto de vista, se identificaron las subcuencas aportantes y la producción de sedimentos en la RFI, se formularon presas de enrocado como sistemas para el control de la contaminación por sedimentos a los cursos de agua, y con base a los costos de las presas, se valoró el servicio ecosistémico.

Los costos anuales de las presas de enrocado para el control de sedimentos de las subcuencas del Coyuni fueron: 474 954,59 USD/año para la subcuenca del río Yuruarí; 677 282,92 USD/año para la subcuenca del río Supamo, 2 231 175,00 USD/año para la subcuenca del río Yuruán, 2 088 994,14 USD/año para la subcuenca del Alto Coyuní, 991 246,17 USD/año para subcuenca Venamo-Coyuni, 623 516,71 USD/año para subcuenca Botanamo, 262 301,74 USD/año para subcuenca Moracuani, 127 997,64 USD/año para subcuenca Aguas negras y 101 692,03 USD/año para sub cuenca Acarabisi.

Los costos anuales de las presas de enrocado para el control de sedimentos de las subcuencas del Delta del Orinoco fueron: 1 082 103,31 USD/año para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina. 720 335,04 USD/año para la subcuenca Río Grande, 1 386 728,99 USD/año para la subcuenca Aguirre y 1 131 801,68 USD/año para la subcuenca Coyubuni.

Utilizando las superficies de las subcuencas del Cuyuni y el volumen de sedimento anual por ellas producidos, se determinó que el costo de las presas de enrocado, por superficie y volumen controlado, fueron, (USD/ha y USD/ m³), de: 0,40 y 4,48 para la subcuenca del río Yuruarí; 1,45 y

4,51 para la subcuenca del río Supamo, 5,08 y 6,36 para la subcuenca del río Yuruán, 4,27 y 3,99 para la subcuenca del Alto Coyuní, 1,48 y 2,40 para subcuenca Venamo-Coyuni, 0,94 y 6,57 para subcuenca Botanamo, 3,59 y 5,69 para subcuenca Moracuani, 3,50 y 12,34 para subcuenca Aguas negras y 4,16 y 21,61 para subcuenca Acarabisi.

Utilizando las superficies de las subcuencas del Cuyuni y el volumen de sedimento anual por ellas producidos, se determinó que el costo de las presas de enrocado, por superficie y volumen controlado, fueron, (USD/ha y USD/ m³), de: 6,28 y 4,85 para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina. 2,24 y 1,97 para la subcuenca Río Grande, 3,09 y 5,82 para la subcuenca Aguirre y 1,00 y 4,56 para la subcuenca Coyubuni.

Al ejecutar una regresión entre costos de mantenimiento de la calidad del agua versus superficie de las subcuencas y el volumen de sedimentos, se encontró que al incrementar una hectárea en la superficie de una subcuenca aportante de sedimentos, el costo se incrementa en 1,027 USD anualmente. Por otro lado, al incrementar un metro cúbico de sedimento aportante, el costo se incrementa en 2,87 USD por año.

Todos los resultados presentados anteriormente deben ser tomados como órdenes de magnitud debido a múltiples supuestos y limitaciones encontradas para formular las obras de control.

Capítulo 13. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico conservación de la biodiversidad y especies en peligro de extinción en la Reserva Forestal Imataca.

Los SE de conservación de la biodiversidad son los beneficios de regulación obtenidos de los ecosistemas del bosque. Estos servicios mejoran la calidad de vida. En la Reserva Forestal Imataca tales servicios son la conservación de la vegetación y la fauna.

La valoración económica de este servicio contribuye a la aplicación de un protocolo para la valoración ambiental y económica de la Reserva, lo cual puede servir de base para justificar su conservación por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible, así como, la elaboración de incentivos económicos que apoyen dicha conservación.

Por otro lado, la valoración económica de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad ayudará al diseño de políticas de aprovechamiento, su regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales e incrementar la sensibilización ambiental respecto a la misma.

La valoración ambiental de la conservación de la biodiversidad permitió inferir que el Bosque Siempreverde Húmedo Tropical es la unidad dominante de vegetación de la RFI, cubriendo un 69% del área total de la reserva, seguido del Bosque Siempreverde estacional (12%) y del Bosque de Pantano (15%). El resto de las unidades vegetales comprende el 4% del área total. Asimismo, se encontró que el Bosque Siempreverde Húmedo Tropical se distribuye en toda la zona central y sur de la RFI, mientras que el Bosque Siempreverde Estacional se encuentra en la zona noroeste y el Bosque de Pantano ocupa la zona noreste de la reserva. Los Manglares están confinados en la zona costera de la Reserva y el resto de unidades se encuentran marginadas a la zona norte del Bosque Siempreverde Estacional.

A partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación se determinó una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias. La vegetación presenta un buen estado de conservación. Sin embargo, la deforestación se ha incrementado paulatinamente en la zona sur de la Reserva.

Se encontró que la principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera. Y que existen 13 especies vegetales amenazadas en la RFI:

Euterpe oleracea

Euterpe precatoria

Sabal mauritiiformis

Guzmania lingulata

Hymenaea courbaril

Caryocar nuciferum

Alexa imperatricis

Heliconia bihai

Carapa guianensis

Cedrela odorata

Enterolobium schomburgkii

Virola surinamensis

Erismia uncinatum

Desde el punto de vista de fauna, en la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpía, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestris*.

El valor de conservación de la RFI, usando un método basado en costo, mediante programas de manejo adaptativos, es 22,67 USD/ha al año. Con las reservas del caso este puede ser asumido como el valor por superficie para toda la Reserva.

Los programas de Manejo Adaptativo formulados cuentan con cinco pasos claves:

- Conceptualización: En esta etapa se elabora el marco conceptual del valor objeto de conservación (VOC) de interés, a partir de la información bibliográfica disponible y de la

experticia de los investigadores. Adicionalmente se seleccionan los modelos matemáticos que se utilizarán para describir el sistema y predecir el efecto de las intervenciones sobre el atributo. Dichos modelos compiten con base a su capacidad para predecir el impacto de las acciones de manejo sobre el sistema.

- **Planificación:** Consta de la definición de los objetivos de conservación, manejo y de monitoreo, así como del plan de acción a seguir, en el cual se especifican detalladamente las intervenciones y acciones de manejo propuestas. En esta etapa se desarrollan los protocolos de monitoreo y de intervención. Junto a la conceptualización conforman las dos etapas claves de la toma de decisiones estructuradas del manejo adaptativo.
- **Implementación:** comprende la puesta en práctica del muestreo piloto, de la evaluación de la magnitud de las amenazas sobre el VOC (Valor Objeto de Conservación) y de las acciones de manejo planificadas en la etapa anterior.
- **Análisis, uso y adaptación:** Corresponde a las etapas en las que se analizan los datos obtenidos en el monitoreo, se evalúa el efecto de las amenazas y de las acciones de manejo sobre el VOC, se comparan los modelos matemáticos que compiten para describir el sistema y se realizan los ajustes necesarios al programa de manejo adaptativo.
- **Aprendizaje:** Junto a las dos etapas anteriores conforman las etapas de generación y uso de nuevo conocimiento del sistema, que garantizaran la optimización del plan de manejo en un sistema complejo con alto grado de incertidumbre.

Los planes de manejo adaptativo formulados se implementarían en un sector de al menos 8 500 Km² de la Reserva Forestal Imataca. Dicha área debe contar con al menos un 80% de cobertura de bosques no intervenidos, de manera tal, de poder mantener una población viable de águila arpía y de jaguares, dos especies paraguas que se consideran Valores Objeto de Conservación para la reserva. Dicho sector es suficientemente grande como para evaluar los cambios ocurridos en cobertura de diversas clases de vegetación, así como el estado de conservación de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos.

Dado la presión actual a la que se ve sometida la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca, se sugiere implementar este programa de conservación en el sector sur de la Reserva Forestal Imataca, área actualmente amenazada por diferentes actividades económicas legales e ilegales. El área total definida para este proyecto piloto de conservación es de 8 707 km².

El principal aspecto relevante de los resultados encontrados, es que el presente estudio es uno de los pioneros del uso de un método basado en costo en la valoración económica de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad del país. Asimismo, el uso del Manejo Adaptativo como programa de conservación de la biodiversidad.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad de la RFI fueron: La falta de información sobre ecosistemas,

genes y especies que caracterizan la biodiversidad de la RFI. De estas, solo se cuenta con más información de ecosistemas. Falta identificar muchas especies florísticas y faunísticas. La inexistencia de mercados formales de productos derivados de la biodiversidad. La alta dispersión de la información relacionada con la biodiversidad de la RFI. La carencia de proyectos de conservación de la biodiversidad en la zona. Las recurrentes fallas de electricidad e internet afectaron el desarrollo del trabajo. Razones políticas que redujeron la accesibilidad a la zona.

Capítulo 14. Valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales de la Reserva Forestal Imataca.

Los Servicios Ecosistémicos Culturales son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas del bosque. Estos servicios mejoran la calidad de vida. En la Reserva Forestal Imataca tales servicios son educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

Para realizar la valoración económica de los servicios mencionados anteriormente, se usó el método de valoración contingente tipo *referéndum*. La encuesta definitiva se aplicó a 400 entrevistados, usando como población objetivo la Gran Caracas y Venezuela, de las cuales se analizaron 393. De éstas, las entrevistas personales se ejecutaron en el municipio Libertador de la Gran Caracas (178 encuestas) y Ciudad Bolívar (130 encuestas); 24 telefónicas en el Municipio Caroní del estado Bolívar y 61 por internet (38 de la ciudad de Mérida, 9 de la ciudad de Caracas, 4 de Barquisimeto, 4 de Maturín, 3 de Maracaibo y 3 de Valencia). Asumiendo que no existe diferencias en el mecanismo de aplicación de las encuestas, como han manifestado algunos autores, se analizaron en un solo conjunto.

Se calcularon las estadísticas descriptivas de las respuestas. Por otro lado, se estimaron las medidas de bienestar (media y mediana), usando dos métodos no paramétricos y uno paramétrico. Los montos ofrecidos para calcular la probabilidad de Sí fueron 1, 2, 5, 10 y 15 USD anual, durante 5 años.

Los valores medio de los SE culturales de la RFI oscilan entre 52 360 514,1 y 268 540 930,0 USD/año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente. Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 13,71 y 70,30 USD/ha al año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.

Realizando un promedio de los métodos, la Disposición A Pagar (DAP) anual por persona por los SE culturales de la RFI está alrededor de 9,30 USD. Este valor representa el 0,06% del PIB de Venezuela del año 2014, que fue de 15 692,41 USD/persona. Si se usa el PIB del año 2019, cuyo valor nominal es 2 548,0 USD/persona, el valor de la DAP es el 0,4% del PIB.

Usando un valor anual de ingresos medio de los entrevistados de 320,0 USD, la Disposición A Pagar anual representa el 2,9% de los mismos.

El 95,4% de las personas entrevistadas consideran que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada. Mientras que el 97,2% está de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población y mantener los SE culturales. Sin embargo, sólo el 66,7% contribuiría monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan. Las principales razones argumentadas sobre las razones del No fueron ingresos insuficientes, y que debe ser el Estado quien debe financiar el Plan y que tienen desconfianza de que el Plan se lleve a cabo.

La edad promedio de los que participaron en las encuestas fue 40 años. El número promedio de miembros del hogar 4. El sexo de los que participaron en las encuestas fue 49,1% femenino y 50,1% masculino. Por otra parte, 69,2% tienen estudios universitarios completos; y 77,8% se sitúan en un nivel de salario mensual entre 150 000 a 1,5 millones VES; 60% están entre 151 000 a 700 000 VES mensuales. 79,6% de los encuestados tienen empleo formal.

El 45,4% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, recomiendan a una ONG para el manejo de los fondos. El 23,7% sugieren una fusión entre ONG, el Estado venezolano y una organización indígena. Casi el 70% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, tienen una seguridad de pago mayor al 60%. Una seguridad de pago mayor a 80% la tienen 38,9%. El 77,5% prefiere hacer el pago por transferencia. El 40,8 % de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, indicaron que todos los elementos de los SE culturales de la RFI eran prioritarios. El 35,5% indicó que educación, estudios e investigaciones eran prioritarios. La herencia cultural y el idioma indígena apenas fue prioritaria para un 3,9% de los encuestados.

El principal aspecto relevante de los resultados encontrados, es que el presente estudio es uno de los pioneros del uso de valoración contingente en la valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales de los bosques del país. Asimismo, los resultados se pueden usar de base para ayudar al diseño de políticas de aprovechamiento y conservación, su regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales e incrementar la sensibilización ambiental respecto a los servicios ecosistémicos culturales de los bosques.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los servicios ecosistémicos culturales de la RFI fueron: situación país en lo que respecta a las condiciones sociales y económicas de sus habitantes en relación con los ingresos, así como a las prioridades de sus gastos. Poca gente estuvo dispuesta a contestar las encuestas, por lo que para reunir una muestra representativa se tuvo que unir las respuestas personales, con las de internet y las telefónicas. Las entrevistas personales tuvieron un costo alto. A lo anterior se sumó las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas. La escasez de gasolina, además de incrementar el costo de los traslados para inspeccionar la ejecución de las encuestas, redujo las movilizaciones de los entrevistadores y en algunos casos, la inseguridad personal en algunas áreas, redujo la movilización de los entrevistadores.

Conclusiones

Los cambios más relevantes de coberturas y usos del suelo, entre 2000 y 2018, son bosque húmedo tropical a bosque degradado (801,86 km²), bosque húmedo tropical a minería (320,80 km²), Bosque siempreverde a cultivos (94,97 km²), Bosque siempreverde a bosque degradado (73,30 km²) y Bosque húmedo tropical a cultivos (50,98 km²).

El uso pecuario está prohibido en la RFI. Las zonas de conflicto por el uso pecuario ocupan 6 075,21 ha. 65% en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEAF); 20% en la Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL); 14% en la Zona de Manejo Forestal (ZMF) y 1% en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI 1) Subzona localizada en el eje carretero Tumeremo-Bochincho.

Al integrar los diversos conflictos por usos, de acuerdo con el ordenamiento, dentro de los límites de la RFI, se obtiene una superficie total de 54 112,39 ha. Los porcentajes se distribuyen de la siguiente manera: cultivos (51%), minería (36%), uso pecuario (11%) y uso forestal del bosque nativo (2%). Al comparar este valor (54 112,39 ha) con el área total de la RFI, se obtiene un área de conflicto del 1,4%.

Los servicios ecosistémicos priorizados de la RFI son: Provisión: Rendimiento hídrico (agua), Madera y productos forestales no madereros. Regulación: Atrape y almacenamiento de carbono, regulación de los flujos de agua, control de la erosión del suelo y sedimentación, mantenimiento de la calidad del agua, conservación de la biodiversidad y de especies en peligro de extinción. Culturales: recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, estudios e investigación, educación, herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

El volumen anual promedio potencial de aprovechamiento de la madera, 7,08 m³/ha, se estima válido, pues proviene de los inventarios forestales de las unidades de explotación Santa María I y III de la Unidad V de la RFI.

Los beneficios netos anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 1 475,63 USD/ha.

Existe muy poca comercialización de los PFSM prospectivos de la RFI.

Los PFSM prospectivos con mayor potencial de comercialización son: semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje.

Usando un precio por kilo de sarrapia en la RFI de 0,7 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico de la sarrapia es 17,5 USD/ha al año.

Usando un precio por litro de copaiba de 0,75 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico del aceite de copaiba es 0,15 USD/ha al año.

Los valores de rendimiento hídrico encontrados, para la RFI mediante simulación con el software InVEST, se sitúan en el orden de 400 mm/año para 2018, lo cuales se comparan con promedios simulados por NASA entre 2000 y 2018, con la metodología desarrollada por Rodell *et al.* (2015). Estos están en 420 mm/año. Lo cual indica una diferencia del 5% entre ambas fuentes que utilizan metodologías de cálculo diferentes.

El análisis de sensibilidad del rendimiento hídrico, debido a la variación de coberturas, mediante enfoques de elasticidades permite establecer que los cambios temporales en las coberturas inciden de manera significativa en la variación del rendimiento, situándose los valores de elasticidades entre 2 para cuencas con precipitaciones altas y hasta 6 en cuencas con precipitaciones bajas

El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Venezuela de 17 VES para el año 2018, corresponde a 0,019; 0,015; 0,001; 0,004; 0,009 y 0,008 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Colombia de 33 156 COL, para el año 2018, corresponde a 71,09; 55,78; 5,45; 15,93; 32,86 y 29,87 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Perú de 4,15 PEN, para el año 2018, corresponde en a 8,58; 6,73; 0,66; 1,92; 3,97 y 3,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios corresponde a 6,58; 5,16; 0,5; 1,47; 3,04 y 2,76 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente. Usando otros valores de transferencia de beneficios de otro estudio, el valor de rendimiento hídrico corresponde a 77,40; 60,73; 5,93; 17,34; 35,78 y 32,52 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

El costo de convertir una hectárea de bosque a asentamientos humanos, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, se calcula en 74,87; 91,54; 146,33; 134,92; 116,49 y 119,75 USD/ha al año,

para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

El costo de convertir una hectárea de bosque a minería, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 109,73; 126,40; 181,20; 169,78; 151,35 y 154,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde respectivamente.

Para el año 2018 se observa que el carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, es de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo.

De ese total, se tiene que 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representando el 15,33 % y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%.

La Reserva Forestal Imataca tiene un valor de servicio ecosistémico de atrape y almacenamiento de carbono de 23 419 898 202 USD.

De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 USD (11,1 %) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 USD (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 USD (36,8%) al carbono en el suelo.

La cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.

Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para el período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono por causas de cambio en el uso del suelo.

Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono.

El valor anterior significa una pérdida del 0,7 por mil del valor del SE en la Reserva.

Las tasas de erosión de la RFI oscilan entre 2,55 t/ha al año a 30,44 t/ha al año catalogándose según la FAO-PNUMA-UNESCO como de ligera o nula a moderada

La Reserva Forestal Imataca (RFI) presenta un valor de producción de sedimento de 14,68 t/ha al año, debido a la presencia del Bosque en la RFI, la erosión en la misma es moderada.

El SE control de la erosión y sedimentación se valoró solo para las cuencas del Delta del río Orinoco, por la presencia del canal de navegación de dicho río.

El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Casacoima

a Santa Catalina varía entre 29,96 a 2 983,41 US/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.

El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Río Grande varía entre 19,48 a 1 940,64 USD/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.

El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Aguirre varía entre 10,05 a 1 001,02 USD/ha/año dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.

El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Cuyubuni varía entre 3,89 a 388 USD/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.

La minería artesanal o a pequeña y mediana escala, en la RFI, en cualquiera de sus modalidades de explotación, emplea mercurio (Hg) como material para la amalgamación en el proceso de beneficio o recuperación del oro. Entretanto, a escala industrial se emplean soluciones de cianuro (CN^-) para realizar la recuperación del metal precioso. En ambos casos, se observa el empleo de sustancias con altos niveles de toxicidad, tanto para la salud humana como para los ecosistemas.

A partir de la cuantificación de las liberaciones de mercurio, de la estimación de la generación de las aguas residuales provenientes de la actividad minera (8 120 m³/d en total) y de una efectividad de remoción esperada de 60%, se consideró el predimensionamiento de un sistema de tratamiento para un caudal de operación de 325 m³/d, para un total de 25 sistemas en toda la RFI.

La valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua como servicio ecosistémico a través del tratamiento de las aguas residuales provenientes de la actividad minera, se realizó en función de los costos de inversión inicial, los costos administrativos y los costos de operación y mantenimiento, El modelo para esta valoración incluye la determinación del VPC y del CAE, resultando en 549 400,87 USD y 80 665,37 USD/año, respectivamente. Esto implica que el costo evitado será de 0,7 USD por m³ de agua tratada.

Las trece subcuencas de la RFI tienen características morfométricas muy particulares, como diversidad en áreas, topografía o patrones de la red de drenaje, lo que conlleva a observar gran variabilidad en los resultados de la determinación de aportes de sedimentos, que van desde 4 708,29 m³/año para la subcuenca del Acarabisi, hasta 1 021 455,8 m³/año para la Venamo-Coyuní.

Para las subcuencas del Coyuni, la subcuenca del Yuruari es la que presenta menores costos por superficie (0,4 USD/ha), mientras que la del Venamo Coyuni es la que tiene menores costos por volumen de sedimentos (2,4 USD/m³). Para las subcuencas del Delta, la subcuenca del Coyubuni, es la de menor costo por superficie (1,0 USD/ha), y la de Río Grande la de menor costo por volumen (1,97 USD/m³).

A partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación se ha determinado una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias.

La RFI presenta un buen estado de vegetación. Sin embargo, la deforestación se ha incrementado paulatinamente en la zona sur de la Reserva.

La principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera.

Existen 13 especies vegetales amenazadas en la RFI.

Desde el punto de vista de fauna, en la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpia, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestris*.

El valor de conservación de la biodiversidad y de las especies en peligro de extinción, usando los costos de programas adaptativos, es 22,67 USD. Con las reservas del caso, éste puede ser asumido como el valor para toda la Reserva.

La RFI presenta los siguientes servicios ecosistémicos culturales: Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena. Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes corresponden a los valores de uso directo no extractivo. Entretanto, la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y la preservación del idioma indígena son valores de no uso de legado.

El único método disponible para valorar valores de no uso es la valoración contingente.

Los valores medio de los SE culturales de la RFI oscilan entre 52 360 514,1 y 268 540 930 USD/año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente. Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 13,71 y 70,30 USD/ha al año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.

Los valores económicos encontrados de los SE culturales se deben tomar como órdenes de magnitud debido a los sesgos propios de la aplicación del método de valoración contingente.

La Disposición A Pagar anual por persona por los SE culturales de la RFI está alrededor de 9,30 USD. Esto representa el 0,04% del Producto Interno Bruto anual por persona del año 2019.

El 95,4% de las personas entrevistadas considera que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada para garantizar el flujo de los beneficios de los bosques para el país. Mientras, el 97,2% está de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan, con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población y mantener los SE culturales. Sin embargo, sólo el 66,7% contribuiría monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan.

Las principales razones argumentadas sobre las razones del no fueron ingresos insuficientes; que debe ser el Estado quien debe financiar el Plan y que tienen desconfianza de que el Plan se lleve a cabo.

Las variables socioeconómicas sexo, edad, ingresos, nivel educativo, número de miembros del hogar y formalidad del empleo no resultaron significativas respecto a la Disposición A Pagar.

La edad promedio de los que participaron en las encuestas fue 40 años. El número promedio de miembros del hogar 4.

El sexo de los que participaron en las encuestas fue 49,1% femenino y 50,1% masculino. 69,2% tienen estudios universitarios completos, mientras que 30,8% no. 77,8% de los encuestados se sitúan en un nivel de salario mensual entre 150 000 a 1,5 millones VES. 60% están entre 151 000 a 700 000 VES mensuales. 79,6% de los encuestados tienen empleo formal, 20,4% poseen informal.

El 45,4% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, recomiendan a una ONG para el manejo de los fondos. El 23,7% recomiendan una fusión entre ONG, el Estado Venezolano y una organización indígena.

Casi el 70% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, tienen una seguridad de pago mayor al 60%. Una seguridad de pago mayor a 80% la tienen 38,9%. El 77,5% prefiere hacer el pago por transferencia.

El 40,8% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, indicaron que todos los elementos de los SE culturales de la RFI eran prioritarios. El 35,5% indicó que educación, estudios e investigaciones eran prioritarios. La herencia cultural y el idioma indígena apenas fue prioritaria para un 3,9% de los encuestados.

Aunque no se probó, el clima social y económico del país, sesgó los resultados encontrados. Los mismos deben ser tomados como órdenes de magnitud para orientar la planificación de conservación de la RFI, más no como argumento de la factibilidad de proyectos específicos.

Recomendaciones

Colocar estaciones meteorológicas y de medición de caudales y sedimentación en la Reserva.

Tomar en cuenta los efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos de la RFI.

Actualizar anualmente los cambios de cobertura y uso del suelo, así como los conflictos, de la RFI

Actualizar la valoración económica de la madera realizada, cuando se cuente con más información de costos y beneficios en el área.

Formular y evaluar proyectos de aprovechamiento de Los PFNM prospectivos con mayor potencial de comercialización en la RFI como son: semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje.

Aplicar la técnica de costo de oportunidad del tiempo para el cálculo del valor económico de los PFNM en la RFI.

Se recomienda, efectuar estudios para la valoración de las aguas subterráneas en los macizos cristalinos a encontrar en la RFI.

Ampliar la aplicación de la valoración económica del rendimiento hídrico usando métodos de conservación de las cuencas.

Reaplicar el método de contraprestación por aprovechamiento usando una Unidad Tributaria para Venezuela más acorde con la economía real del país.

Usar los resultados de valoración económica de carbono como órdenes de magnitud que permitan tomar decisiones sobre la planificación del uso de la tierra de la Reserva.

Realizar mediciones periódicas del almacenamiento de carbono, principalmente en biomasa aérea en diferentes coberturas de la RFI.

Ejecutar un estudio semidetallado de suelos en la RFI.

Usar otros precios referenciales de valor económico de la tonelada de carbono.

Ejecutar análisis de sensibilidad para diferentes tasas de descuento para estimar el valor del secuestro de carbono.

Usar los valores económicos estimados anteriormente para el control de la erosión y sedimentación, como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos para el estudio.

Establecer un conjunto de unidades de investigación con el fin de generar información básica en cuanto a los parámetros que intervienen en la erosión hídrica

Si se va a trabajar con una escala más detallada, realizar los estudios de campo respectivos para determinar a nivel de campo la pérdida de suelo por erosión.

Realizar estudios semidetallados de suelo para la obtención de información edafología básica al igual que un inventario de la vegetación.

Establecer un marco institucional con apoyo multilateral para consolidar y preservar la subcuenca del Coyuni y Delta para de esta forma controlar su degradación y disminuir la pérdida de suelo por erosión hídrica y su posterior arrastre a los cuerpos de agua.

Se debe emprender una actualización de precios de dragado para de esta forma tener insumos reales y actualizados, necesario en la valoración económica.

A pesar de que existen numerosas evidencias de la afectación del mercurio sobre la salud humana y de los ecosistemas, es importante reconocer que éste seguirá siendo utilizado por los mineros a pequeña y mediana escala, hasta tanto no se ofrezca y se capacite a los trabajadores de este sector económico en nuevas tecnologías de beneficio o recuperación del oro. Es por ello por lo que se recomienda ampliamente tanto el fortalecimiento de la investigación en esta materia, como en la formación de personal para la capacitación de los trabajadores.

Otro elemento importante para considerar es la creación de registros oficiales para la generación de estadísticas confiables y accesibles. En este sentido, se debe comenzar a contar con bases de datos de importaciones de mercurio y otras sustancias empleadas en la explotación aurífera, los mineros y sus formas de organización (cooperativas, asociaciones, compañías, independientes, entre otros), la producción estimada y la producción real de oro, las cantidades de mercurio empleadas de forma mensual, entre otras variables que pueden y deben ser medidas de forma continua. Estas estadísticas permitirán determinar el comportamiento tendencial, cíclico o periódico que presentan estas variables, y así, proceder con una planificación de acciones más apegada a la realidad.

En este mismo orden de ideas, también es importante fortalecer los registros sanitarios de los pobladores tanto permanentes como los itinerantes de la RFI, a fin de tener un mayor control sobre los problemas sociales que se presentan en la zona, y, de esta manera, orientar las políticas del Estado hacia la solución efectiva de los mismos.

Usar los valores económicos estimados anteriormente para el mantenimiento de la calidad del agua, como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos

Se necesitan mediciones de campo para conocer la erosión de las diversas subcuencas.

Así mismo, mediciones en los cauces de agua para determinar el grado de contaminación por mercurio y sedimentos.

Usar los valores económicos estimados anteriormente para la conservación de la biodiversidad y especies en peligro de extinción, como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos

Llevar adelante el programa de Manejo Adaptativo propuesto para la conservación de la biodiversidad y especies en peligro de extinción de la RFI.

Continuar con el levantamiento de especies florísticas y faunísticas de la RFI

Para mejorar la estimación del valor de conservación de la diversidad biológica se requiere implementar de manera inmediata programas de monitoreo piloto que permitan conocer el estado actual de las poblaciones y comunidades propuestas como valores objeto de conservación.

Asimismo, estimar los costos de Instalaciones y alojamiento apropiado con manejo de agua servida, de residuos sólidos y desechos industriales bajo estándares internacionales de calidad y seguridad industrial. Conservación de suelos en concesiones mineras. Recuperación de suelos perdidos y degradados en la reserva y diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento de efluentes en concesiones mineras

Hasta tanto no cambien las condiciones sociales y económicas del país, los resultados de aplicación del método de valoración contingente para estimar valores de los SE culturales de la RFI, no estarán exentos de sesgos.

Los resultados obtenidos pueden ser usados para justificar planificar la conservación de la RFI.

En orden de abaratar los costos de las encuestas, las mismas pueden ser realizadas por internet. Se recomienda grabar video y audio que permita a los encuestados por este medio, una mayor comprensión del cuestionario.

Se debe dar a conocer la importancia de la herencia cultural y el idioma indígena para la conservación de la RFI.

Capítulo 1

Introducción y objetivos

El Ministerio de Ecosocialismo, MINEC, en la República Bolivariana de Venezuela está recibiendo un financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) ejecutado a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y su representación en Venezuela, para la implementación del proyecto GCP/VEN/011/GFF - Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques bajo la Perspectiva Ecosocial, en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela.

El proyecto busca integrar la conservación de la biodiversidad, el manejo sostenible de la tierra y la mitigación del cambio climático en el sector forestal para lograr un manejo forestal sostenible a través de la innovación en el manejo de información, incentivos, gobernanza participativa, empoderamiento de las comunidades dependientes de los bosques y mecanismos múltiples para la recuperación de áreas boscosas bajo procesos de degradación en ecosistemas forestales representativos de Venezuela.

El proyecto consta de los siguientes componentes:

- Componente 1: Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF).
- Componente 2: Fortalecimiento de capacidades e instrumentos innovadores para el Manejo Forestal Sostenible.
- Componente 3: Restauración, conservación y MFS/MST de bosques en zonas afectadas por procesos de degradación.
- Componente 4: M&E del proyecto y disseminación de información.

En el marco del componente 1, específicamente en el producto 1.2, resultado 1.2.3 que indica la conformación de una base de datos de bienes y productos de la biodiversidad y ecosistemas foresta, incluyendo productos maderables y no maderables y su uso múltiple por comunidades locales; se contrató una consultoría para la elaboración de un protocolo de valoración ambiental y económica para la Reserva Forestal Imataca, RFI.

El objetivo general de la consultoría es diseñar y aplicar un protocolo para la valoración ambiental económica de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la reserva forestal Imataca.

Los objetivos específicos son:

- Determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de

opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.

- Realizar la valoración ambiental y económica de los impactos de un proyecto de conservación específico formulado para la RFI o en su defecto los lineamientos para realizar dicha valoración.
- Formular un procedimiento para valorar los daños ambientales actuales de la RFI.
- Capacitar y sensibilizar a funcionarios de instituciones y entes relacionados con los objetivos 1, 2 y 3 de la consultoría.

El presente documento se asocia con el primer objetivo, pues la Reserva Forestal Imataca posee muchos servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos son aquellos bienes y servicios, comercializados o no, que les proporcionan bienestar a las personas. Estos se clasifican en SE de provisión, regulación y culturales.

Estos servicios ecosistémicos tienen un valor económico total disgregado en valores de uso, no uso y opción. A su vez los valores de uso se clasifican en valores de uso directo y valores de uso indirecto. Los valores de uso directo pueden ser extractivo o no extractivo. Los valores de no uso corresponden a valores de legado y existencia.

Un protocolo es un conjunto de pasos que se siguen para alcanzar un determinado objetivo. En el presente documento lo que se busca es *Determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca.*

Con dicha determinación se tienen elementos de juicio a la hora de tomar decisiones sobre la conservación de la Reserva por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible. Así mismo, conducir a la formulación de mecanismos de financiamiento, mediante incentivos económicos, para dicha conservación. Por otro lado, puede contribuir a alimentar sistemas internacionales de contabilidad ambiental y económica con miras a construir las cuentas nacionales de Venezuela.

Todo protocolo debe ser fácil de aplicar y flexible. Es decir, que pueda ser retroalimentado al obtenerse nueva información y mayor experiencia en la aplicación de las técnicas de valoración económica y ambiental.

En este orden de ideas, el objetivo perseguido se abordó usando el siguiente protocolo:

- Preparación del trabajo a realizar
- Delimitación y caracterización de la RFI
- Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

- Identificación y clasificación de los actores involucrados con los servicios ecosistémicos
- Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente.
- Identificación, selección y aplicación de técnicas de valoración económica a los servicios ecosistémicos priorizados.

Cada paso sirve de base al subsiguiente. En tal sentido, al final se obtiene la valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados, que es lo que se busca como resultado de la aplicación del protocolo.

Para abordar los diferentes pasos se usaron distintas metodologías, las cuales se explican en los diferentes capítulos de estructuración del informe. Los capítulos son:

Capítulo 1. Introducción y objetivos

Capítulo 2. Delimitación y caracterización general de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 3. Identificación de los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

Capítulo 4. Identificación y clasificación de actores involucrados con los servicios ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 5. Priorización de los servicios ecosistémicos a valorar económicamente.

Capítulo 6. Identificación, clasificación, descripción general y selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos priorizados.

Capítulo 7. Valoración económica del servicio ecosistémico madera de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 8. Valoración ambiental y económica de los productos forestales no madereros prospectivos de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 9. Valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 10. Valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 11. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico control de la erosión del suelo y sedimentación en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 12. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua de la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 13. Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico conservación de la biodiversidad y especies en peligro de extinción en la Reserva Forestal Imataca.

Capítulo 14. Valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales de la Reserva Forestal Imataca.

El primer capítulo es el presente, los capítulos del 2 al 6 son la base de los siguientes capítulos, mientras, los capítulos 7 al 14 constituyen el resultado esencial de la aplicación del protocolo. Por tal razón estos últimos se estructuran con su propia introducción, marco teórico, metodología, limitaciones, hallazgos y resultados, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y los anexos.

Mención aparte merece el suministro de una base de datos de apoyo a los diferentes capítulos.

A continuación, se presenta el desarrollo de los diferentes capítulos.

Capítulo 2

Delimitación y caracterización general de la Reserva Forestal Imataca

1. Introducción

En este capítulo se presenta la delimitación y caracterización de la RFI. Por otro lado, se muestran los anexos 2.1 y 2.1. El primero referente a un análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra en la Reserva y el segundo para el tratamiento de los conflictos de uso de la tierra en el área. Ambos anexos son valores agregados al presente capítulo.

2. Delimitación y caracterización físico – natural de la Reserva Forestal Imataca

2.1. Ubicación del área de estudio

La Reserva Forestal Imataca (RFI) está localizada en la región de Guayana. Las mayores porciones de la Reserva Forestal se encuentran ubicadas políticamente en los municipios Casacoima (4,1%) y Antonio Díaz (36,5%) del estado Delta Amacuro ocupando una superficie de 15 490,55 km² (40,6%), y los municipios Sifontes (54,6%), Padre Pedro Chien (4,5%), Piar (0,1%) y Roscio (0,2%) del estado Bolívar con una superficie de 22 663,51 km². La RFI ocupa una superficie de 38 154,06 km². La Figura 2.1 muestra la ubicación geográfica de la RFI a nivel nacional, en la Figura 2.2 pueden apreciarse los límites políticos administrativos de la Reserva.

La Figura de Reserva Forestal fue establecida en una primera oportunidad a través de la Resolución N° 47, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 26 478, del 9 de febrero de 1961, momento en el cual el área fue denominada Reserva Forestal El Dorado. La más reciente modificación de los límites se realizó a través de la Resolución N° 15, del 7 de enero de 1963, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 27 044, del 8 de enero de 1963, cuando recibe el nombre de Reserva Forestal Imataca.

Los límites de la RFI fueron descritos en el Artículo 1 de la Resolución N° 15 y son los siguientes:

Norte: Partiendo de los Castillos de Guayana, siguiendo la margen derecha del río Orinoco hasta llegar al Caño Piacoa; se sigue éste y sucesivamente aguas abajo el Caño Socorro, El Brazo Imataca, El Caño Korosimo y nuevamente el Brazo Imataca hasta llegar a la ensenada Yautica en la Boca Grande, pasando por el Sur de las Islas Diego Pérez y Papagayo en el río Orinoco; se sigue tierra firme hasta llegar a Punta Barima, en la Isla Corocoro; se continúa por la costa Norte de esta isla pasando por Punta Sabaneta y Punta Mocomoco hasta llegar a Punta Playa en el lindero internacional con la Guayana Inglesa.

Este: Desde Punta Playa se sigue el límite internacional con la Guyana Inglesa hasta llegar a la Sierra de la Escalera, cota 500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Sur: Siguiendo la cota antes mencionada en la región La Escalera, hasta llegar a río Yuruán.

Oeste: Siguiendo el río Yuruán aguas abajo, hasta llegar a su confluencia con el río Avachica, desde aquí siguiendo el mismo río Yuruán hasta su desembocadura en el río Cuyuní, pasando por la población de El Dorado; de aquí siguiendo el río Cuyuníaguas abajo hasta el camino viejo que conduce desde este río hasta el Fundo Paisolandia; de este punto con rumbo Norte franco hasta llegar al Cerro "Las Chicharras" al Noroeste de Tumeremo; desde aquí se sigue la fila más alta de la Cordillera de Imataca hasta llegar a las cabeceras del río Grande en la altiplanicie de Nuria; se sigue el curso del río Grande hasta llegar a la pica 10.000 (Lindero Norte) del parcelamiento Río Grande del Instituto Agrario Nacional, en su margen izquierda, desde este punto se sigue con rumbo Oeste franco hasta llegar al Hato "Chaguamaral"; se toma luego rumbo Suroeste hasta encontrar el Cerro La Dolomita o Mina Manganeseo y de aquí con rumbo Noroeste hasta llegar a Los Castillos de Guayana en el Territorio Federal Delta Amacuro.

De acuerdo con lo anterior, los límites de la RFI son:

Norte: Río Orinoco, y área Norte del Municipio Antonio Díaz del estado Delta Amacuro

Este: Zona en Reclamación (sujeto al Acuerdo de Ginebra del 17 de febrero de 1966 y al Protocolo de Puerto España del 18 de junio de 1970).

Sur: Sierra de Lema (Parque Nacional Canaima).

Oeste: Puerto Ordaz, San Félix, Upata y El Palmar hasta el sector Norte; Tumeremo hacia el sector Central; y El Dorado y el río Yuruán hacia el sector Sur.



Figura 2.1. Ubicación geográfica de la Reserva Forestal Imataca (RFI) a nivel nacional

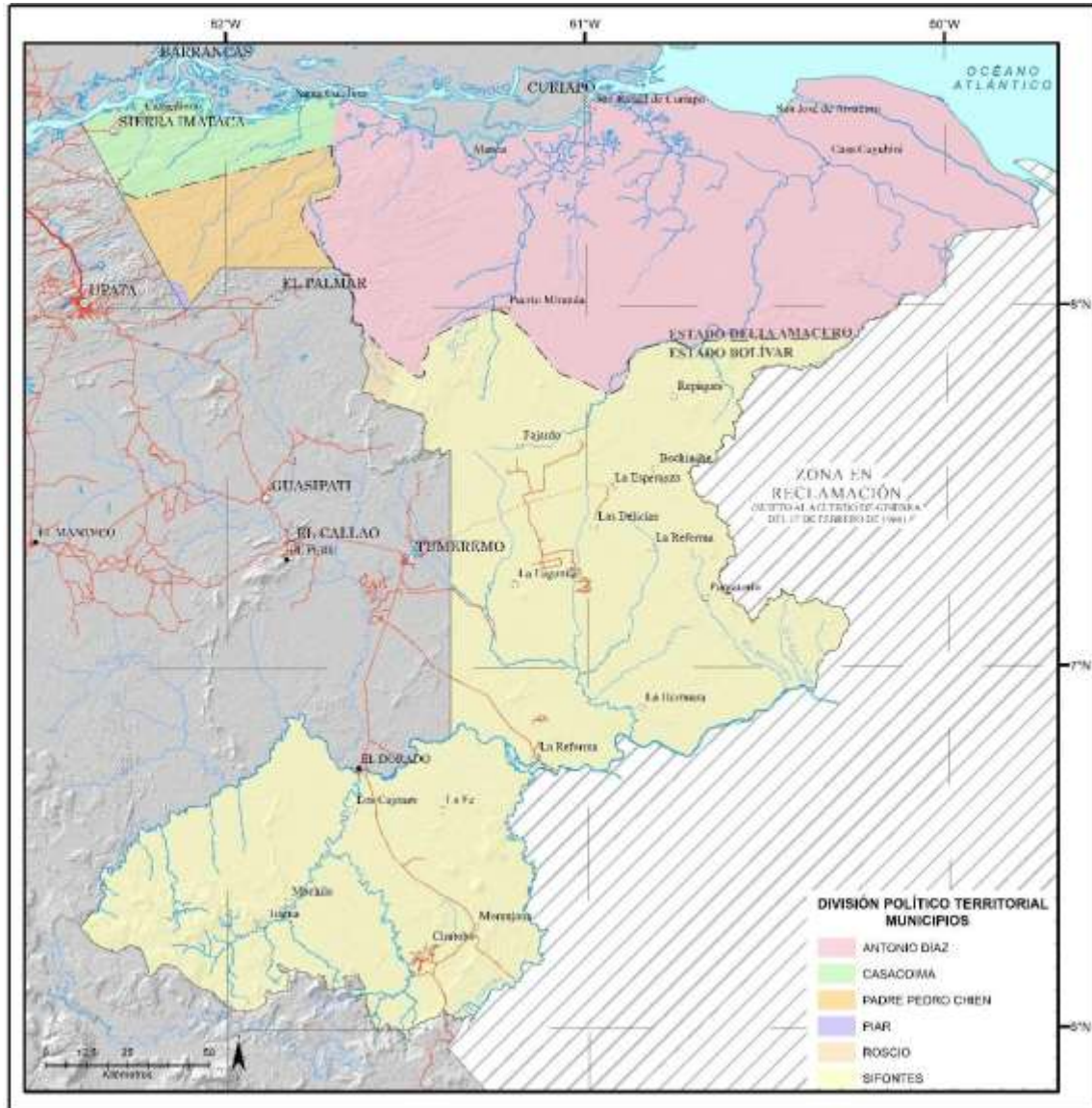


Figura 2.2. División político territorial en la RFI a nivel nacional

2.2. Clima

Para la descripción de las características climáticas se ha contado con la colaboración del Dr. Ing. Civil Luis Mora autor del Servicio ecosistémico Rendimiento Hídrico.

2.2.1. Precipitación

La precipitación anual en la RFI oscila según el período histórico de referencia entre los 1 700 mm y 1 900 mm. Debido a que se tienen diferentes referencias se presenta la Figura 2.3, que muestra los períodos a considerar según las fuentes, las bases de datos consultadas y los períodos de interés. De esta manera, se muestra en la Figura 2.3a, isoyetas anuales para toda la base de estaciones históricas que se encuentran en la base de datos de INAMEH. En la misma, se observan dos centros de tormenta uno al Noreste de la RFI y otro situado al Suroeste, estos centros de tormentas no se podrán representar en períodos históricos comunes puesto que las estaciones que evidenciaban este comportamiento espacial fueron eliminadas.

Así bien, la Figura 2.3b, muestra las isoyetas medias anuales para el período 1971 al 2000, este período es de interés puesto que en el mismo se han basado los modelos meteorológicos utilizados para Cambio Climático (CC) y presentados en la II Comunicación presentada para Venezuela en 2017. En este período se encuentra una precipitación media anual de 1 803 mm para la RFI. Se evidencian altas precipitaciones al sur de la RFI, pero ya no se observa el centro de tormenta al Noreste comentado anteriormente.

Por otro lado, el INAMEH, presenta en su página WEB, isoyetas anuales y mensuales para un período entre 1968-1983, con base en un estudio realizado para el CONICIT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) denominado actualmente FONACIT. El análisis de la precipitación media para la RFI en este período, que se muestra en la Figura 2.3c, es de 1 917 mm.

Finalmente, de la consulta de datos hidrométricos, se obtiene que el período histórico en el cual se realizan mediciones en algunos ríos de la zona es de 1977 al 1982, se analiza la precipitación media anual para este período, resultando en 1 773 mm. Este resultado, mostrado en la Figura 2.3d, supondría una diferencia del 2% menor con respecto al período de 1971-2000. Lo que expresa que este período, aunque corto es muy cercano al mayor período histórico analizado.

Con la finalidad de observar el comportamiento mensual de la precipitación en la RFI, se presentan 7 estaciones las cuales se consideran representativas de la RFI, debido a su ubicación espacial y al período de registros que poseen. Se destaca la estación Upata (3994) que posee 60 años de datos y a la vez registra la precipitación mínima de las mostradas, con un promedio de 1 104 mm/año. Los mayores registros de precipitación los muestra la estación Kilómetro 88 (5901) con 2 839 mm/año.

Se observa que las estaciones registran un comportamiento temporal ligeramente bi-modal, encontrándose los períodos de mínimas precipitaciones para los meses de Febrero-Marzo y los de máximas entre Mayo y Agosto, siendo el mes Junio, el de mayor precipitación para todas. Se

registra un ligero incremento de precipitación en los meses de Noviembre-Diciembre (Figura 2.4).

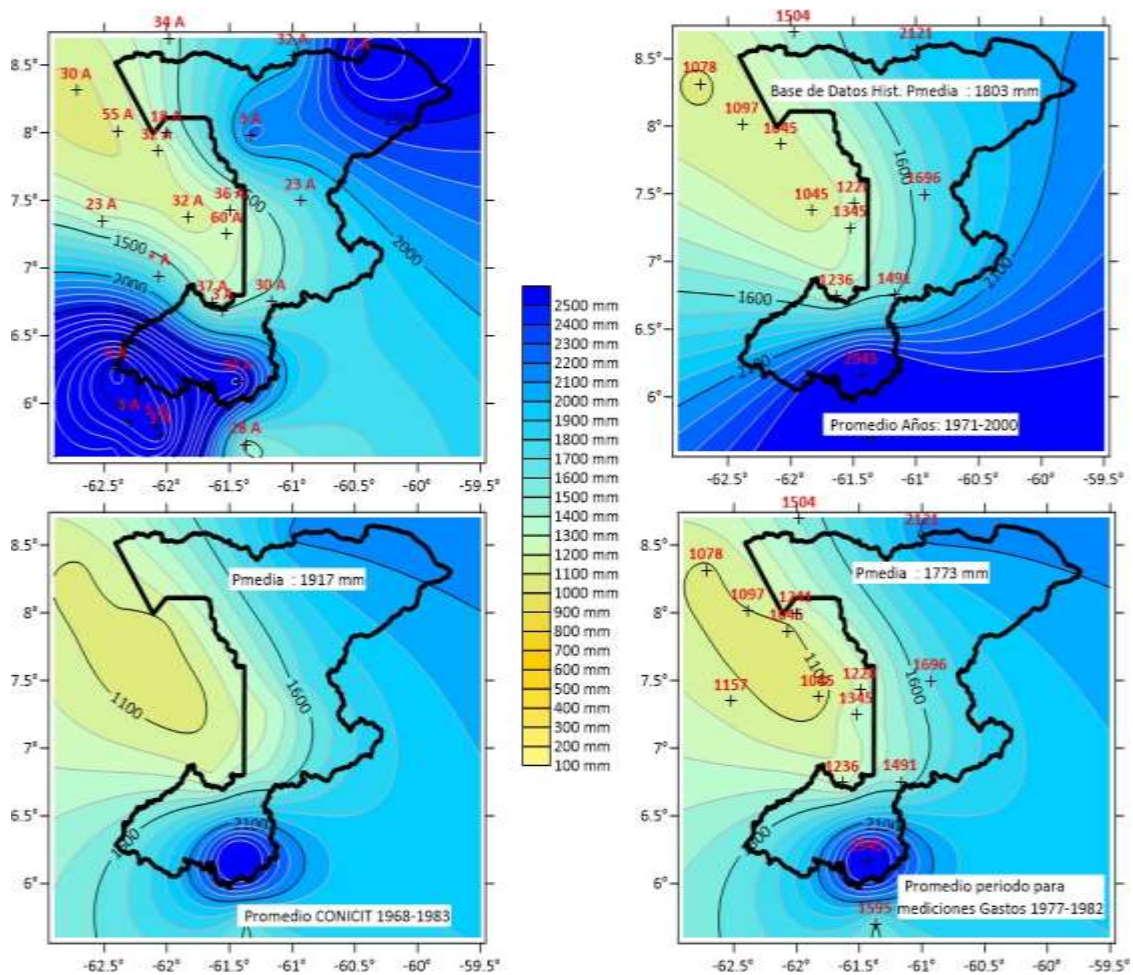


Figura 2.3. Isoyetas de Precipitación media mensual para la RFI, con base en diferentes períodos de interés. (a) Precipitación Asíncrona. (b) Período 1971-2000. (c). Período 1968-1983. (d) Período 1977-1982

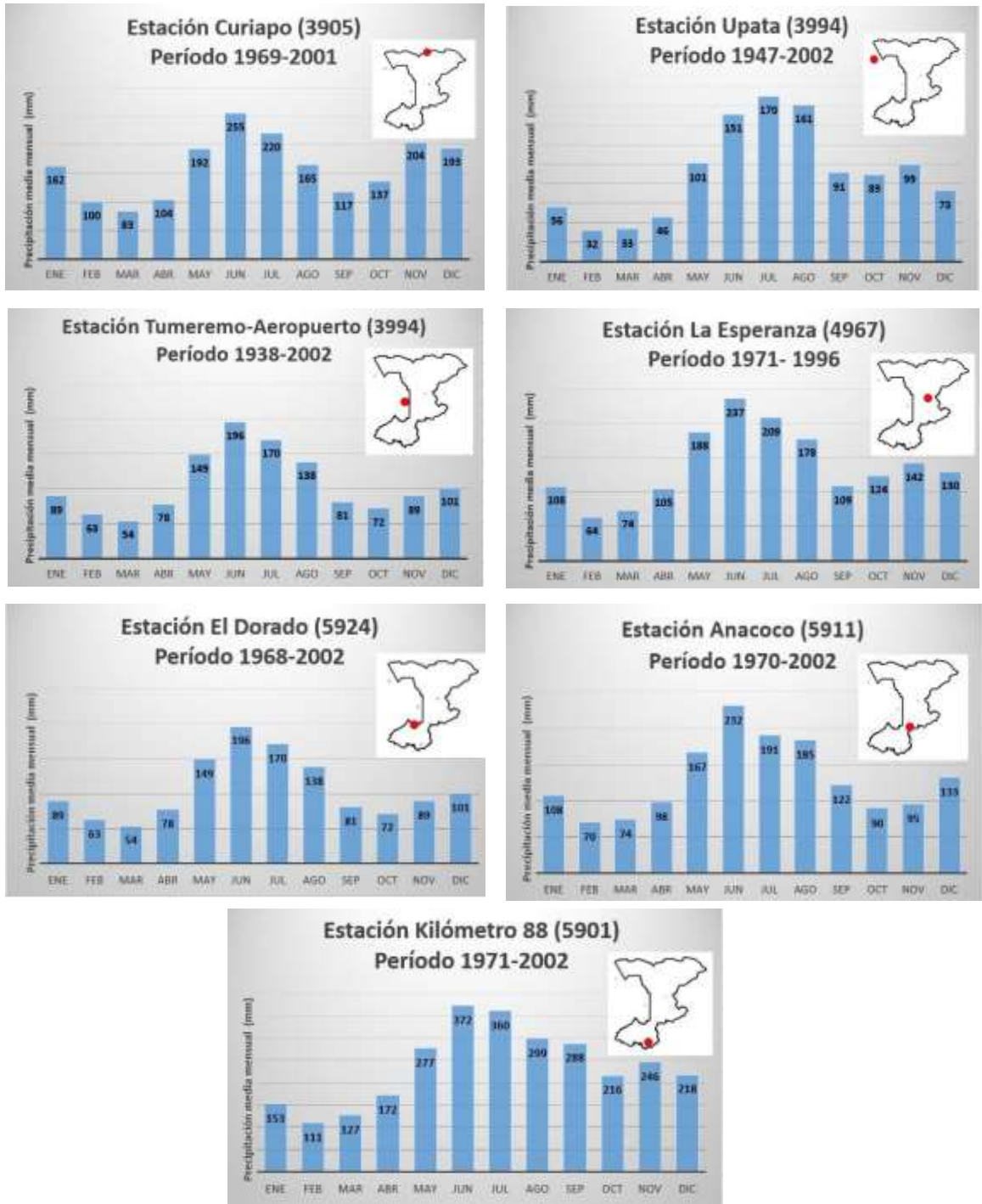


Figura 2.4. Hietogramas mensuales de precipitación media para diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI

2.2.2. Temperatura

Los datos levantados por las estaciones climáticas son escasos encontrándose solo tres estaciones con datos representativos en la base de datos INAMEH, a saber: Upata serial: 3994, Tumeremo-Aeropuerto (4974) y Anacoco serial: 5911, esta última dentro de la RFI. El análisis se realiza para un periodo de 29 años entre 1971 y 1999. Se buscó extender este periodo hasta el año 2000, pero las mismas reportan registros hasta 1999.

En la Figura 2.5, se observa que la temperatura media anual en la RFI para el periodo 1971-1999 es de 25,7 °C. Igualmente, se presenta el comportamiento de la temperatura media mensual para las estaciones seleccionadas y ordenadas por su ubicación espacial de Norte a Sur.

En general se observa el comportamiento bimodal de la temperatura para las estaciones de referencia. Las máximas térmicas se encuentran en los meses de Abril-Mayo y Septiembre-Octubre; y Las mínimas entre Diciembre-Enero y Junio-Julio. Este último periodo de mínimas pudiera verse influenciado para el aumento de nubosidad correspondiente a la época de lluvias reportada para la región.

Aunque se observan las mayores variaciones de temperatura entre los meses de Mayo y Junio para la estación Upata, la cual, es de 1,3 °C; se encuentra para todas las estaciones presentadas un comportamiento térmico relativamente homogéneo.

Finalmente, es conveniente destacar que los valores presentados de temperatura media para los periodos históricos de medición en Tumeremo Aeropuerto, años 1951 al 1999 (49) difiere en 0.1 °C con respecto al periodo analizado. De manera similar, para la Estación Anacoco, años 1953 al 1999 (47) arroja una diferencia de 0.3 °C con respecto al período de 1971 al 1999.

2.2.3. Evaporación

Los registros de evaporación media en tina son irregulares para las diferentes estaciones, solo la estación Anacoco (5911) presenta un periodo de registros significativo de 26 años. La evaporación media anual para la RFI, varía entre 1 936 y 1 887 mm, según el periodo de referencia.

Se realizan isopleas medias anuales para tres periodos de interés, a) el primero Asíncrono, solo con fines de observar el comportamiento espacial de los registros históricos de las estaciones en tierra. b) El segundo, un periodo común entre 1971 y 1980, para 4 estaciones dentro y cercanas a la RFI; c) el tercer análisis correspondiente al periodo de registros de datos hidrométricos.

La Figura 2.6 muestra los comportamientos espaciales encontrados para la RFI, en la cual se obtiene que la evaporación media anual para la RFI en el periodo común de 9 años es de 1 837 mm.

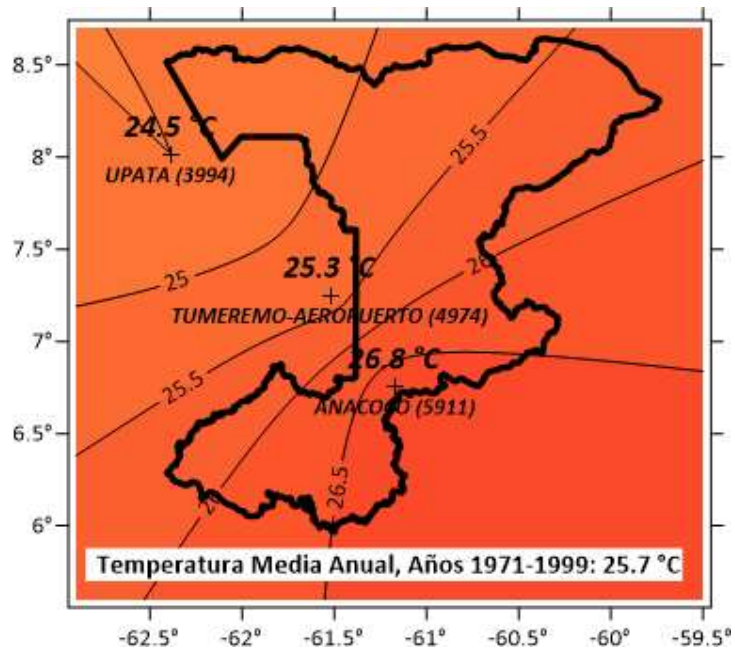


Figura 2.5. Distribución Espacio-temporal de la Temperatura para estaciones cercanas y dentro de la RFI. Años 1971 al 1999

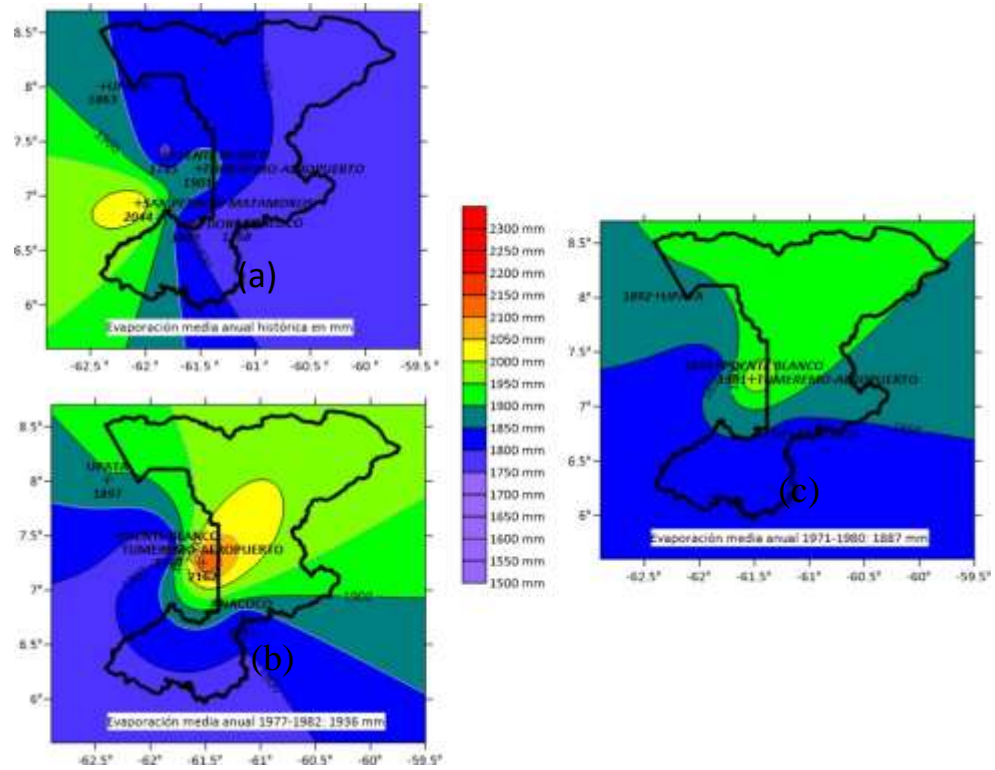


Figura 2.6. Isopletas medias anuales para la RFI. (a) Tendencia espacial con base en datos históricos asíncronos (b) Promedio para el periodo 1977-1982. Coincidente con el de medición hidrológica (c) Período común para 4 estaciones de la zona

Con la finalidad de observar el comportamiento temporal de la evaporación se presentan en la Figura 2.7, los datos para el periodo de 9 años comprendido entre 1971-1980, para cuatro estaciones. Se observa igualmente el carácter bimodal de la evaporación con máximos en marzo-mayo y agosto-octubre; Los valores menores ocurren en junio y diciembre-enero para las estaciones de referencia. Estos datos son consistentes con los hallados por temperatura, por lo que se infiere buena correlación con base a la mismas utilizando métodos simplificados para la estimación de la ETO, tal como se discutirá más adelante.

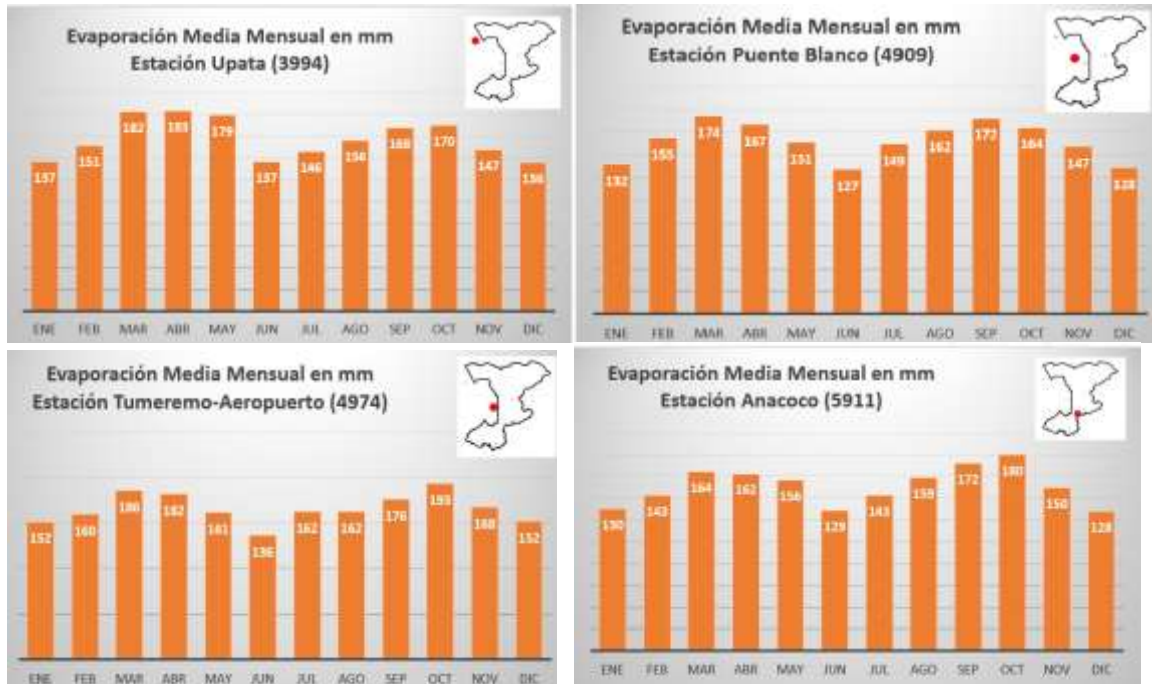


Figura 2.7. Distribución temporal de la evaporación media mensual, en diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI. Período 1971-1980

2.2.4. Déficit hídrico y mesoclimas

En el estudio *Reserva Forestal Imataca: Ecología y Bases Técnicas para el Ordenamiento Territorial* (Berroterán, 2004), se realiza un análisis climático empleando parámetros básicos de temperatura, precipitación, evaporación y evapotranspiración, considerando las medias mensuales y anuales para la zona y su área de influencia. El balance hídrico se realizó según la clasificación de Thornthwaite y los mesoclimas según la clasificación de Sánchez (1981) citado por Berroterán (2004).

El análisis del balance hídrico (Figura 2.8) indica un gradiente de precipitación y de climas húmedos que aumenta hacia el Noreste y Sureste de la RFI, donde no se presenta déficit hídrico durante el año. En el extremo Noroeste de la RFI y en el área de influencia de El Dorado se presentan los únicos sectores de climas estacionales con más de tres meses secos.

Estas características mesoclimáticas permiten identificar a la RFI como un área de clima húmedo con una gran proporción de bosque tropical basal. En la RFI se identificaron 4 tipos de mesoclimas: hiperhúmedo, húmedo, subhúmedo-húmedo y sub-húmedo seco (Figura 2.9).

Los mesoclimas hiperhúmedo y húmedo están caracterizados por no presentar déficit de agua en ninguna época del año y por valores de índice de humedad media que oscilan entre 94 y 29,1.

Estos mesoclimas se distribuyen en la zona Noreste, Este y Sur del a RFI y están asociados a los bosques húmedos siempreverdes de la más alta complejidad estructural.

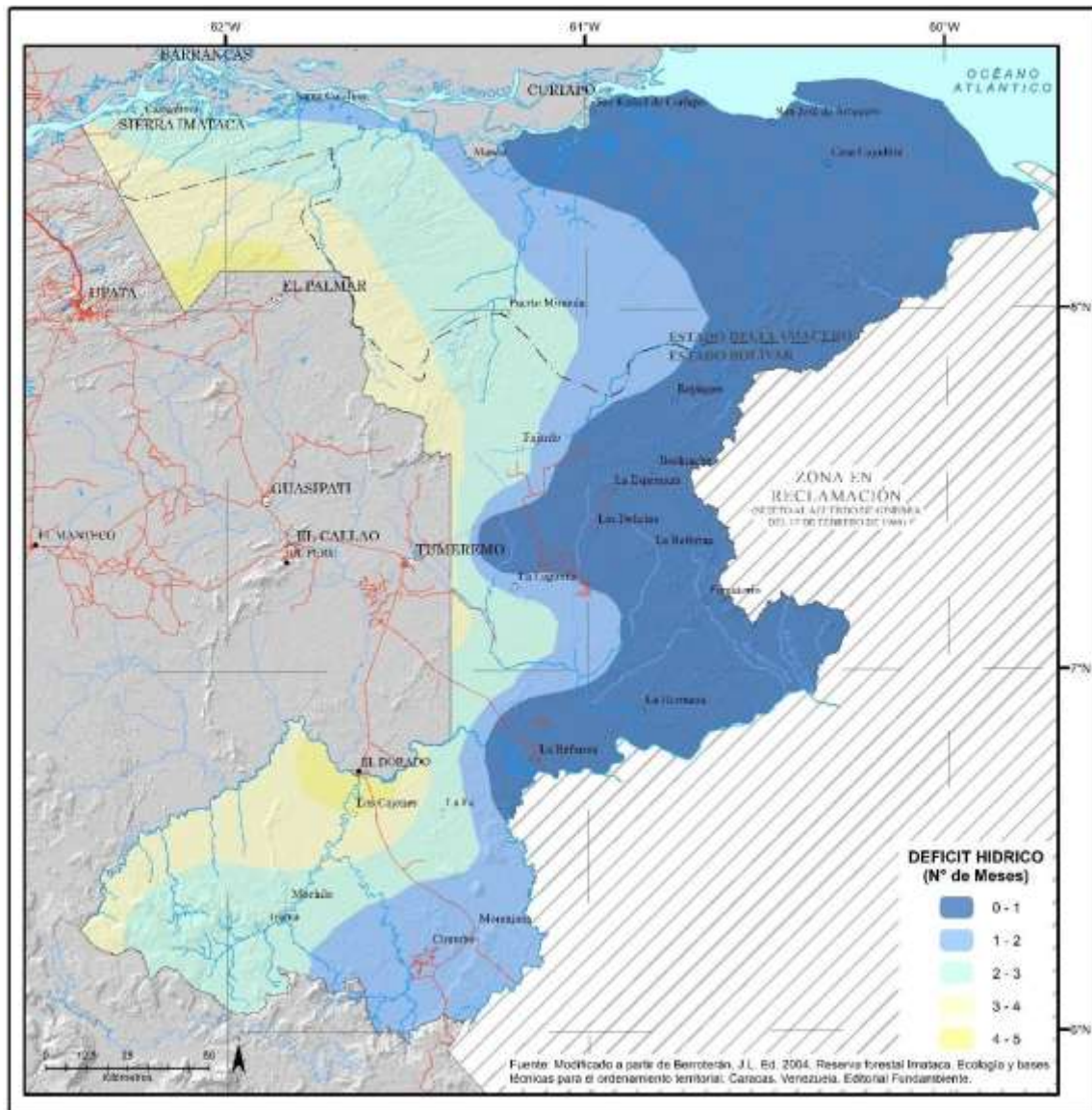


Figura 2.8. Déficit Hídrico en la RFI
Fuente: Modificado a partir de Berroterán, 2004.

En el mesoclima subhúmedo-húmedo se presenta 1 o 2 meses de déficit al año y el índice de humedad promedio es de 15,6. Se encuentra distribuido hacia el Oeste de la RFI y se relaciona con los bosques siempre verdes estacionales y con los bosques semisiempre verdes en el contacto con el mesoclima subhúmedo seco hacia el límite Oeste de la RFI.

El mesoclima subhúmedo-seco, se caracteriza por presentar de 3 a 5 meses de déficit al año y el valor promedio de índice de humedad es -5,4. Se encuentra representado en el extremo Oeste de la reserva, hacia Los Castillos de Guayana, el Norte del Palmar y el Sur de El Dorado. Está asociado a los bosques semisiempre verdes y decíduos, así como a la presencia de sabanas bien drenadas.

2.3. Hidrología

Para la delimitación de las cuencas hidrográficas se contó con la colaboración del Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA).

2.3.1. Cuencas

La superficie ocupada por las principales cuencas hidrográficas que tienen influencia en la RFI se muestra en la Tabla 2.1 y la Figura 2.10 presenta una visualización de estas.

Tabla 2.1. *Cuencas hidrográficas y superficie asociada*

N°	Cuencas Hidrográficas	Superficie (Km ²)
1	Yurauri	11 971,00
2	Supamo	4 666,12
3	Yuruan	4 392,69
4	Alto Coyuni	4 888,44
5	Venamo-Coyuni	6 696,24
6	Botanamo	6 638,46
7	Moracuani	729,96
8	Aguas Negras	365,69
9	Acarabisi	244,56
10	Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05
11	Rio Grande	3 215,81
12	Aguirre	4 485,74
13	Coyubuni	11 374,36

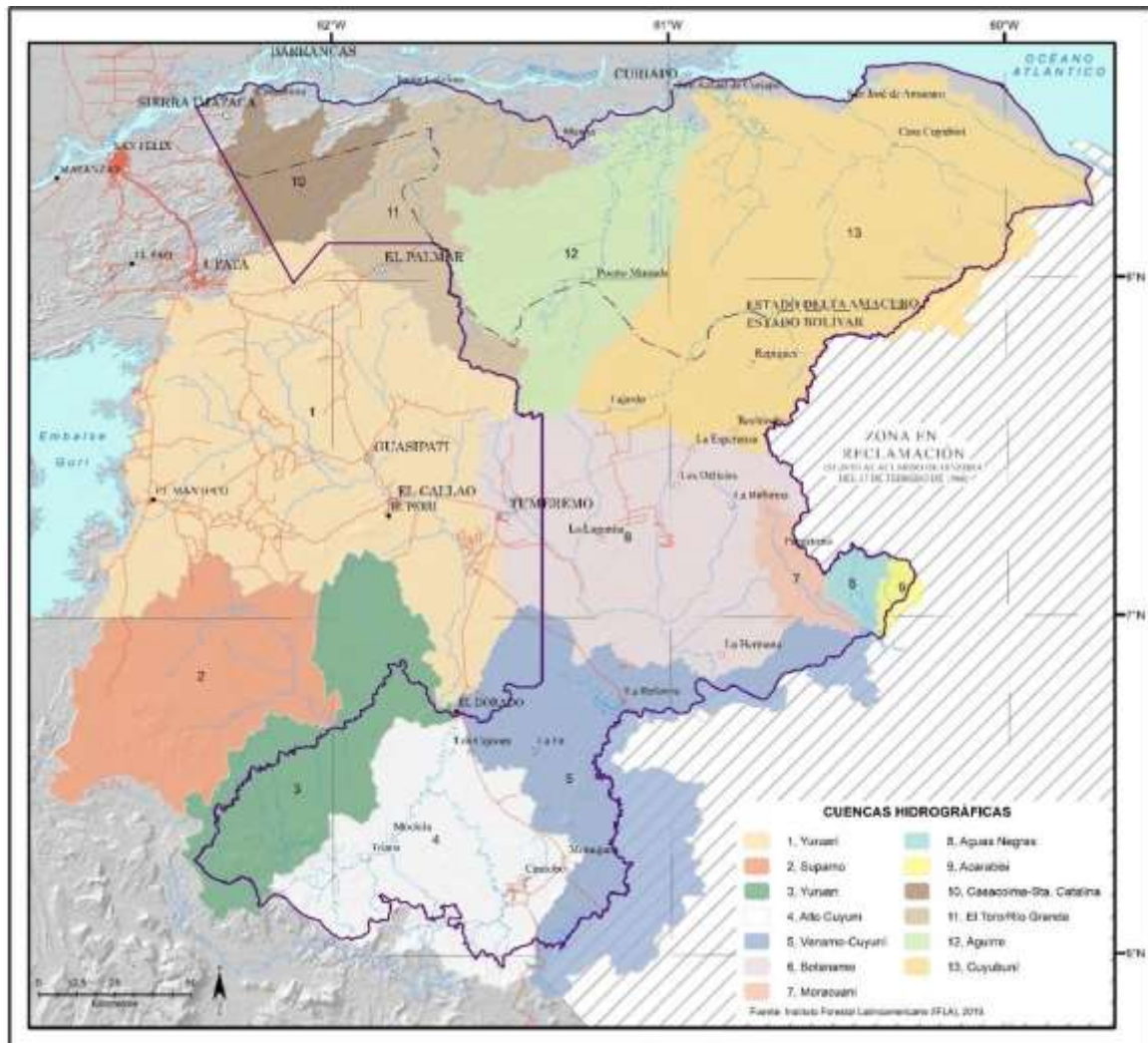


Figura 2.10. Principales cuencas hidrográficas.

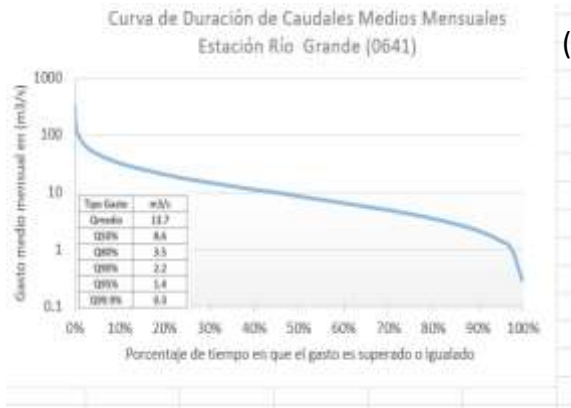
2.3.2. Gastos medidos

En cuencas relacionadas con la RFI, se tienen mediciones de tres estaciones hidrométricas, Río Yuruari en El Callao (0653) área de la cuenca 9 704 km², Río Cuyuní en El Dorado (0788), área 21 000 km² y Río Grande (0641) área 721 km². Las dos primeras registran gastos en un período situado entre 1977 y 1984 y la Estación Río Grande entre el año 1976 y 1991.

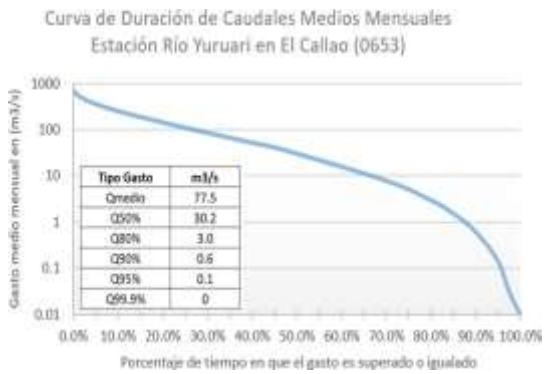
Los registros presentados por las estaciones mencionadas, no son continuos y en algunas de ellas, solo se tienen mediciones continuas en cuatro años. Sin embargo, con base en la información recabada de las mismas, se puede realizar un análisis de datos no agrupados, ajustando a una distribución teórica para definir las respectivas curvas de duración de caudales (Figura 2.11). En estas estaciones, se logra el mejor ajuste para una distribución probabilística Log-Pearson Tipo III.

De manera general se puede observar que los gastos mínimos medidos se sitúan en los meses de febrero-marzo y los máximos en el período entre junio-agosto.

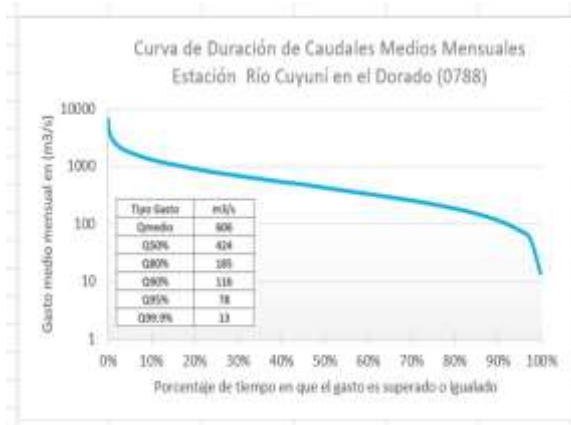
Así pues, llama la atención, que la estación El Callao (0653) cuenca del río Yuruari y paralela al centro de la RFI, puede presentar gastos muy bajos, cercanos a cero en los meses de estiaje. Esto se refleja igualmente en la curva de duración de caudales de la estación. Correspondiéndose con los valores bajos de precipitación mensual, encontrados para las estaciones de la zona.



(a)



(b)



(c)

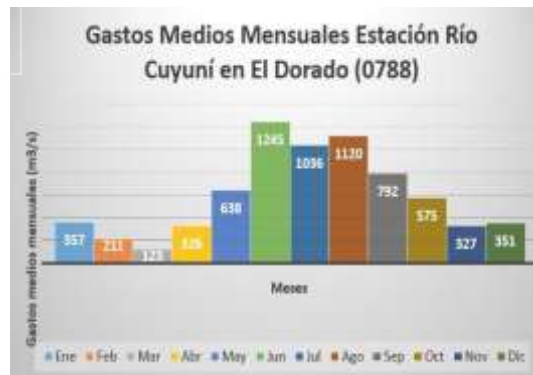


Figura 2.11. Curvas de Duración de Caudales (CDC) y Gastos medios mensuales para Estaciones Hidrométricas de Interés en la RFI. (a) Estación Río Grande, área 721 km² (b) Yuruari en El Callao área 9 704 km², (c) Cuyuní en el Dorado, área 21 000 km².

2.4. Geología

El basamento geológico de la RFI corresponde, en su mayoría, (CIERFI-MARNR, 2001), a rocas muy antiguas asociadas a una gran cantidad de depósitos metálicos y no metálicos que pueden ser de gran interés económico: hierro, oro, platino, sulfuros polimetálicos, tierras raras, manganeso, diamantes, arcillas, caolín, mármol, dolomitas y rocas ornamentales, entre otros.

Estas rocas pertenecen a las Provincias Geológicas de Pastora cuyas formaciones datan entre 2 700 a 2 000 millones de años M.a, conocida por su producción de oro; De Imataca representada por las rocas más antiguas conocidas -3 600 a 3 500 M.a, caracterizada por la producción de hierro; y de Roraima, productora tradicional de diamante y en menor cantidad de oro, con formaciones cercanas a los 1 700 M.a.

En orden de abundancia, las rocas pertenecientes a la Provincia Pastora ocupan el primer lugar dentro de la RFI con 63,1% del área total, seguido por aluviones, 19.7%, y las litologías propias de Imataca, 12,6%. La Provincia Roraima ocupa solamente el 2.8% y las intrusivas márficas, el 1,9% del total. A continuación, se describen brevemente las Provincias Geológicas mencionadas (MARNR, 1985):

- **Provincia Imataca:**

Data del Precámbrico inferior, ocupa el Norte de la RFI; es una franja de unos 400 km de largoy 200 km de ancho, que se extiende desde las cercanías del río Caura hasta el Estado Delta Amacuro, desapareciendo bajo sedimentos del Delta del río Orinoco; es una unidad estructuralmente compleja y de importancia económica por su mineralización de hierro, manganeso, bauxita y caolín.

- **Provincia Pastora:**

Se localiza hacia la zona meridional de la RFI, constituida por rocas volcánicas ácidas y básicas y sedimentarias asociadas, con metamorfismo bajo. Esta provincia está representada por tres formaciones que son: Caballape, Yuruari y El Callao.

- **Provincia Roraima:**

Se localiza en la zona Sur de la RFI, siendo su localidad tipo el Cerro Roraima, en el extremo suroriental de Venezuela, colindante con Brasil y la Zona en Reclamación. Litológicamente, se describe como una sucesión de conglomerados con elementos de cuarzo, areniscas cuarcificas rosadas y blancas, lutitas y otros.

La Región Guayana es una unidad muy estable en la que el sílice tiene una gran importancia como elemento estabilizador, que la hace resistente a la erosión, como ejemplo de esto se tienen los tepuyes, los cuales son producto de la alta resistencia a la meteorización por intemperismo, donde la roca se fractura en bloques verticales.

Las unidades litológicas que afloran en la RFI se pueden diagnosticar a través de la geología de superficie. Estos cuerpos rocosos y sedimentarios se distribuyen particularmente de la siguiente manera (Figura 2.12):

Depósitos fluviales y aluviales en la margen derecha del río Orinoco y sus tributarios en posiciones geomorfológicas bajas y muy bajas con topografía muy plana, al norte de la RFI. También se distribuyen en las márgenes de los cursos de agua más caudalosos en posiciones planas, intramontanas y en zonas de depositación de sedimentos. Ocupan una extensión importante de aproximadamente 19,45%.

Destaca la presencia de rocas del Complejo de Supamo, compuestas por rocas ígneas intrusivas silíceas, paragneis y migmatita. Esta unidad litológica se extiende por 34,71% principalmente en el centro y sur de la de la RFI.

Al noroeste y en la margen izquierda del río Cuyuní próximo a los límites con Guyana en la Zona en Reclamación, afloran rocas del Complejo Imataca compuestos principalmente por ortogneis y paragneis. (14,17%)

El Grupo Botanamo compuesto por esquisto, filita y piedra verde, representa el 15% de la RFI y se localiza al centro-sur de la misma.

El material litológico intrusivo PostSupamo compuesto por Monzonita de cuarzo, se distribuye en por lo menos 5 porciones de territorio al centro y sur de la RFI y cubren una superficie del 3,70%.

El Grupo Carichapo parte Superior, Media e Inferior. Proterozoico. Se extiende por el límite con Guyana en la zona centro-oriental y al suroeste de la RFI con un área estimada que alcanza el 6,43% de la superficie total. La litología predominante se basa en andesitas y anfibolitas.

En menor proporción se distribuyen de manera puntual las rocas intrusivas máficas y ultramáficas, la Formación Yuruarí y el Grupo Roraima ambas al sur de la RFI, con extensiones menores que no sobrepasan el 7%.

2.5. Geomorfología

El rango altitudinal oscila entre los 0 y 1 144 msnm con altitud promedio de 162 msnm. Las pendientes oscilan entre 0 hasta más del 50%, con promedio de 8%. Las Figuras 2.13 y 2.14 presentan las elevaciones y los rangos de pendiente de la RFI, respectivamente. La Figura 2.15 muestra las posiciones geomorfológicas de la RFI.

Predomina la unidad de paisaje característica de lomeríos bajos, medios y altos moldeados por las condiciones climáticas y de escurrimiento que fracturan el relieve, generando desniveles con gradientes escarpados característicos de planos interlomaes y desniveles topográficos, Representan un 52,43% de la superficie de la RFI con suelos ultisoles, entisoles y alfisoles.

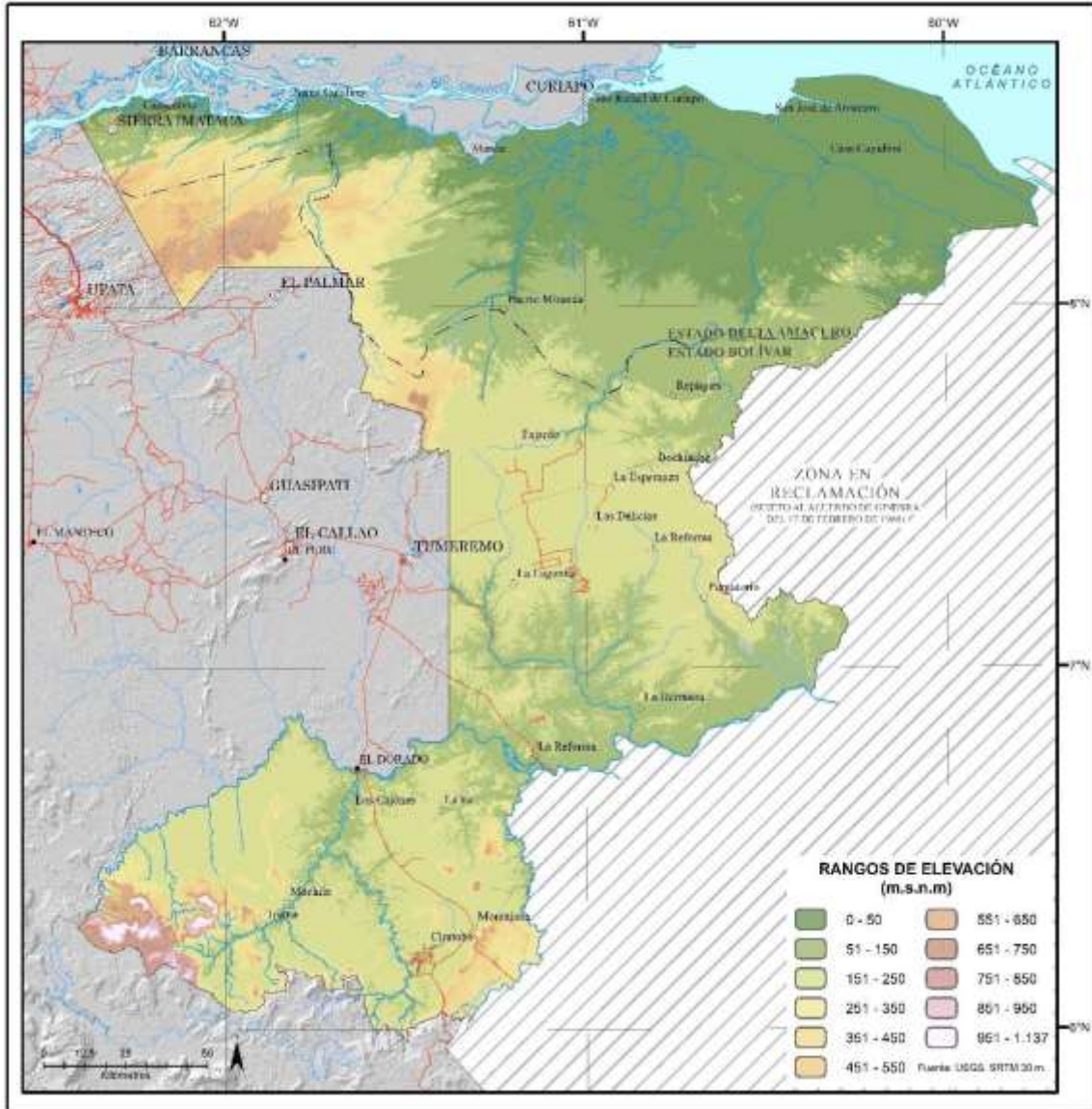


Figura 2.13. Rangos altitudinales

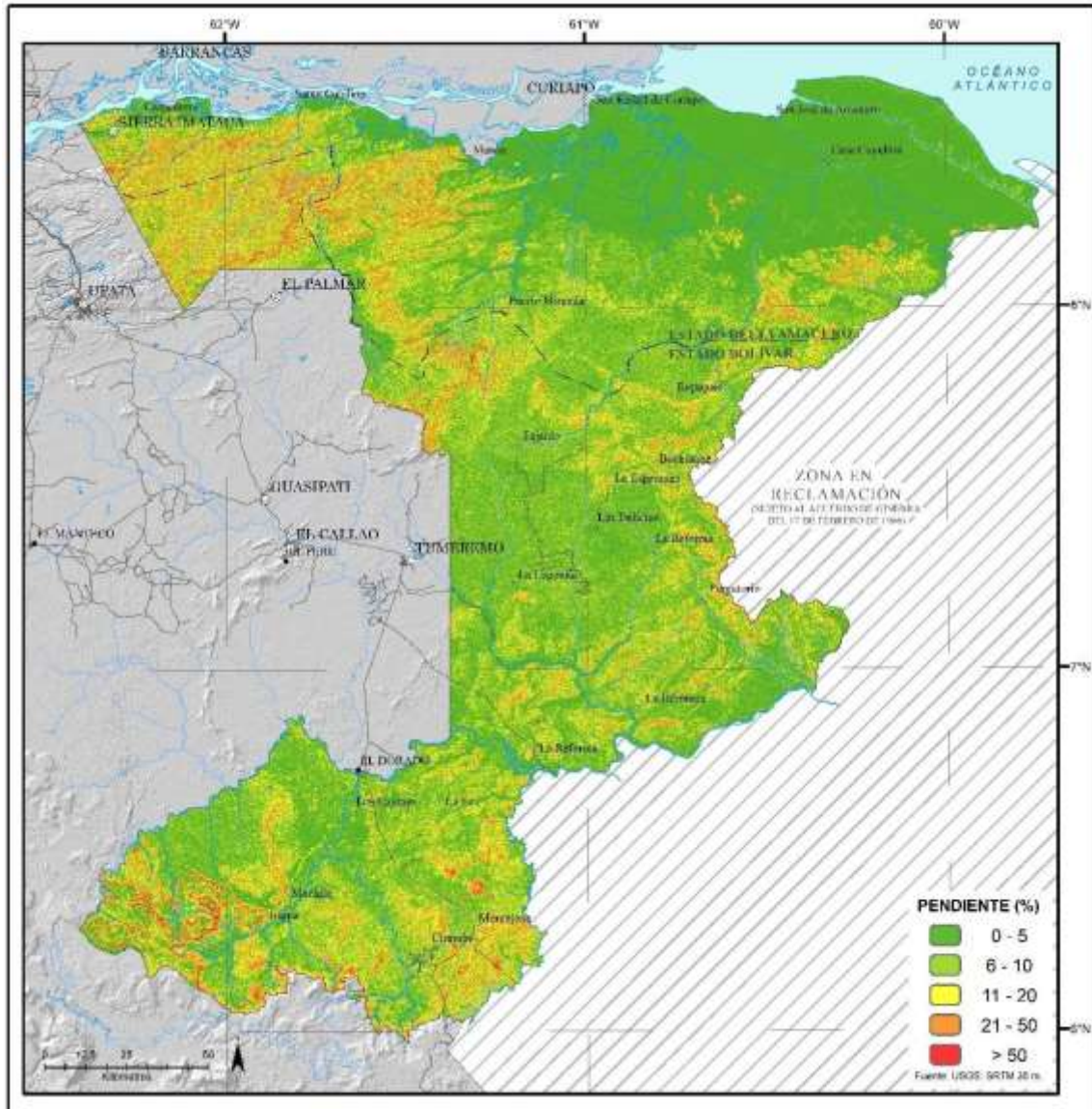


Figura 2.14. Rangos de pendiente

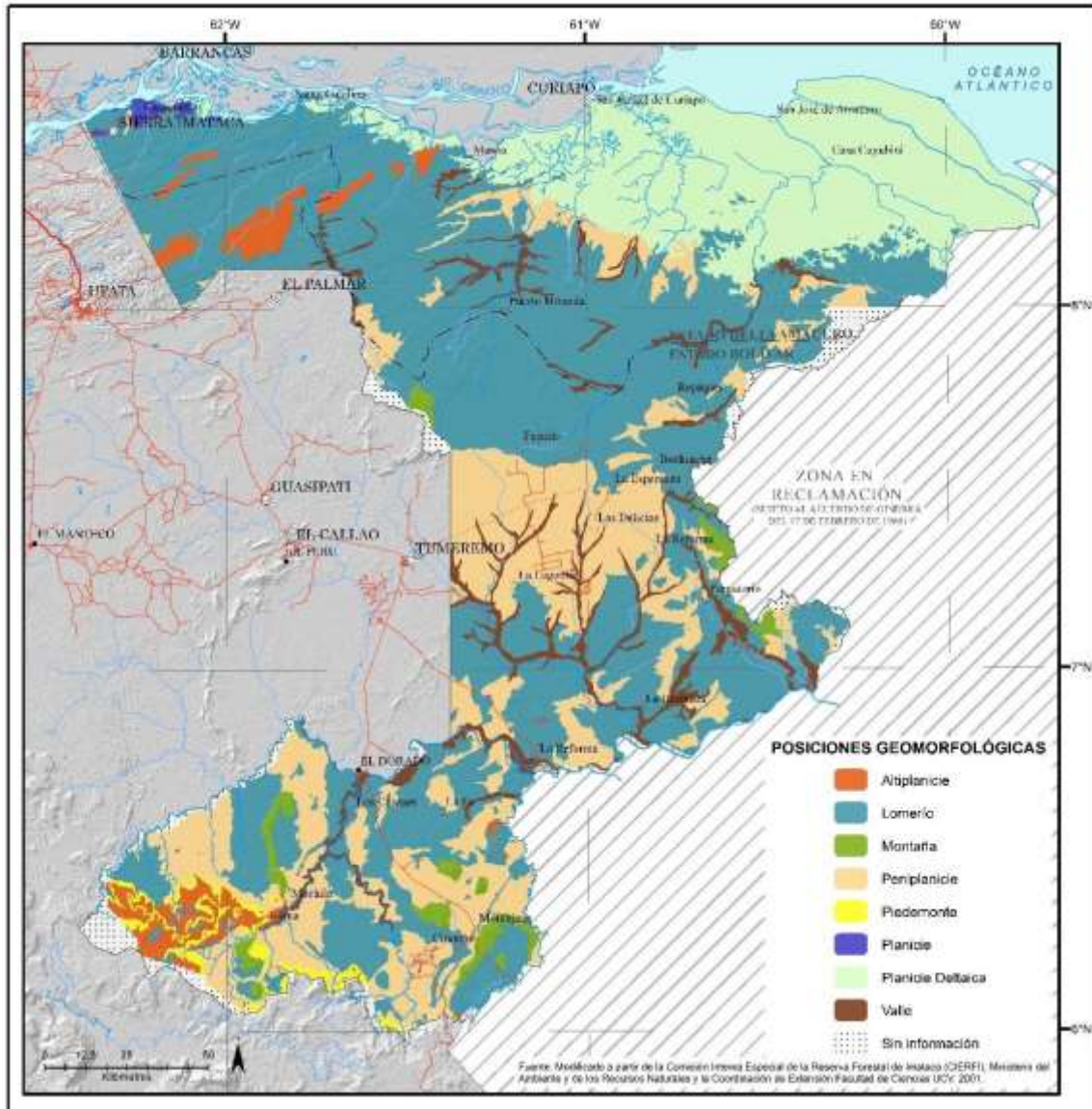


Figura 2.15. Posiciones geomorfológicas de la RFI.
 Fuente: Modificado a partir de CIERFI-MARNR, 2001.

Las planicies fluvio-marina y marina presentes en la RFI se encuentran localizadas al noreste, específicamente en la margen derecha del río Orinoco próxima al Delta. Su configuración se caracteriza por relieves muy planos con pendientes inferiores al 2% en la cual se establecen pantanos estacionales o semiestacionales. Existe una relación directa de estas unidades de paisaje y relieve con los suelos histosol y entisol en planicie deltaica. Ocupan 16,86% de la RFI.

Las peniplanicies bajas onduladas y suavemente onduladas se localizan en el centro y al sur de la RFI, representando una superficie de 20,79%.

Las altiplanicies se localizan al noroeste con presencia de suelos Ultisoles con granulometría franco arenoso – franco arcilloso y suroeste con suelos Entisoles de textura predominantemente arenosa. Representan 3,61% de la RFI.

En el límite centro oriental de la RFI se interpretan montañas bajas escarpadas y muy escarpadas, al igual que hacia el sur de la RFI en las nacientes de los ríos Chibau, Chicanán, Amarillo y Cuyuní. Estas unidades de paisaje suman un 2,07% de la superficie total, y en su posición geomorfológica de laderas se encuentran los procesos erosivos gravitatorios propios de zonas inclinadas con suelos predominantemente coluviales y afloramientos rocosos en donde se desarrollaron entisoles y ultisoles.

Los fondos de valle y valles por donde transita el escurrimiento de los cuerpos de agua principales, se ciñen al norte y sur de la RFI en dirección hacia los cursos de agua de los ríos Cuyuní y Orinoco, y ocupan tan solo 1,45% del área bajo análisis. Sus suelos mayormente transportados se identifican como inceptisoles y ultisoles.

Al noroeste de la RFI, en la margen derecha del río Orinoco y en una continuidad semialargada, se identifican planicies aluviales o coluvio aluviales, en contacto con lomeríos alineados en donde predominan los suelos inceptisol, entisol y ultisoles en planicie sobre diques aluviales, cubetas de decantación, llanura fluvial de inundación plana, napa plana inundable.

Basado en la interpretación de las posiciones geomorfológicas del relieve dentro de la RFI, se pueden identificar ámbitos extensos homogéneos en donde resaltan:

La planicie deltaica próxima a la desembocadura del río Orinoco, así como a las márgenes de éste y otros cursos de agua caudalosos que drenan sus aguas hacia posiciones poco sobresaliente en el relieve, muy planas y deprimidas topográficamente que superan el 17% de área estudiada.

Las planicies bordean la margen derecha del río Orinoco al noroeste generando espacios propicios para la ocurrencia de llanuras y cubetas cenagosas, bajas, planas, inundables, con aportes coluviales, aluviales y fluviales característicos de la zona deposicional de los cursos de agua que circundan el entorno físico natural y representan cerca del 0,3%.

Las geoformas acolinadas y representativas del paisaje de lomeríos, lomas, domos, filas y demás formas redondeadas y semiredondeadas del paisaje cubren la mayor parte de la RFI con más del 49% de la superficie total.

Las peniplanicies engloban las colinas bajas poco sobresalientes y relieves ligeramente inclinados y extensos al centro y sur de la RFI, ocupa parte importante de las cuencas altas y medias del ámbito geográfico y borde sus cursos de agua. Esta unidad geomorfológica se extiende por cerca del 21% del total del área de la RFI.

Las áreas montañosas y sus sierras emblemáticas de Imataca y Nuria, representan zonas de nacientes de agua en las posiciones más sobresaliente en el relieve y alcanzan el 1,8% del espacio definido.

En posiciones intramontanas y dividiendo las unidades geomorfológicas de peniplanicies y altiplanicies resaltan los valles, algunos de ellos ligeramente disectados y controlando la dirección y dinámica del escurrimiento superficial de los cursos de agua. Estas formas sinuosas que bordean algunos afluentes hídricos entallados en el relieve representan el 4,8% del total.

Las altiplanicies localizadas al noroeste y suroeste representan al igual que las montañas posiciones muy sobresalientes en el paisaje, denotando formas del relieve características de planos o mesas del Grupo Roraima al sur y del Complejo Imataca al norte. Suman un conjunto de techos altos de superficie planas que cubren un aproximado de 3% de la RFI. Las altiplanicies se encuentran bordeadas por escarpes erosivos o taludes cubiertos por conos de derrubios o talus que dejan acumulaciones de bloques angulosos desprendidos y depositados al pie o parte de baja de éstas geoformas. Estas zonas inclinadas y muy inclinadas también denominadas piedemontes ocupan cerca del 1,3% de la extensión total de la RFI.

2.6. Suelos

En la RFI la presencia de granitos cuarzosos induce fundamentalmente a la formación de suelos ácidos y la litología general del área no permite una fuerte meteorización que propenda a la formación de suelos (MARNR, 1985). En la RFI los suelos predominantes son residuales, generalmente profundos, ácidos, de baja fertilidad – pobres en macronutrientes P, Na, K, Ca, Mg., no obstante, en las áreas bajo bosque se modifica, ya que los horizontes superficiales se enriquecen con materias orgánicas y por consiguiente en bases, producto de la descomposición de los restos vegetales. En general poseen buen drenaje, buena estructuración y consecuentemente buena aireación, a excepción de los suelos inundables.

CIERFI- MARNR (2001) reporta una zonificación cuantitativa de la presencia de órdenes de suelos, según la clasificación *Soil Taxonomy*. En la Figura 2.16, se muestra la distribución espacial de los órdenes del suelo, la información ha sido recopilada del estudio realizado por la Comisión Interna Especial de la Reserva Forestal de Imataca (CIERFI), Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y la Coordinación de Extensión Facultad de Ciencias UCV. Los porcentajes de distribución espacial de los órdenes de suelo son: Ultisol (73,18%), Entisol (16,71%), Histosol (2,37%), Inceptisol (1,25%), afloramientos rocosos (4,59%) y áreas sin información (1,90%). Según la clasificación de suelos de la 1^{ra} aproximación, los suelos de la RFI son los siguientes (MARNR, 1985):

- **Haplortox:**

Se caracterizan por ser de textura franco-arcillosa-arenosa, de buen drenaje, pH bajo (ácido), presentando además una baja fertilidad natural. Estos suelos se localizan desde la margen

izquierda del río Cuyuní, dentro de la reserva, hasta el comienzo de la Sierra de Imataca y los alrededores de los centros poblados de Bochince y Las Chicharras.

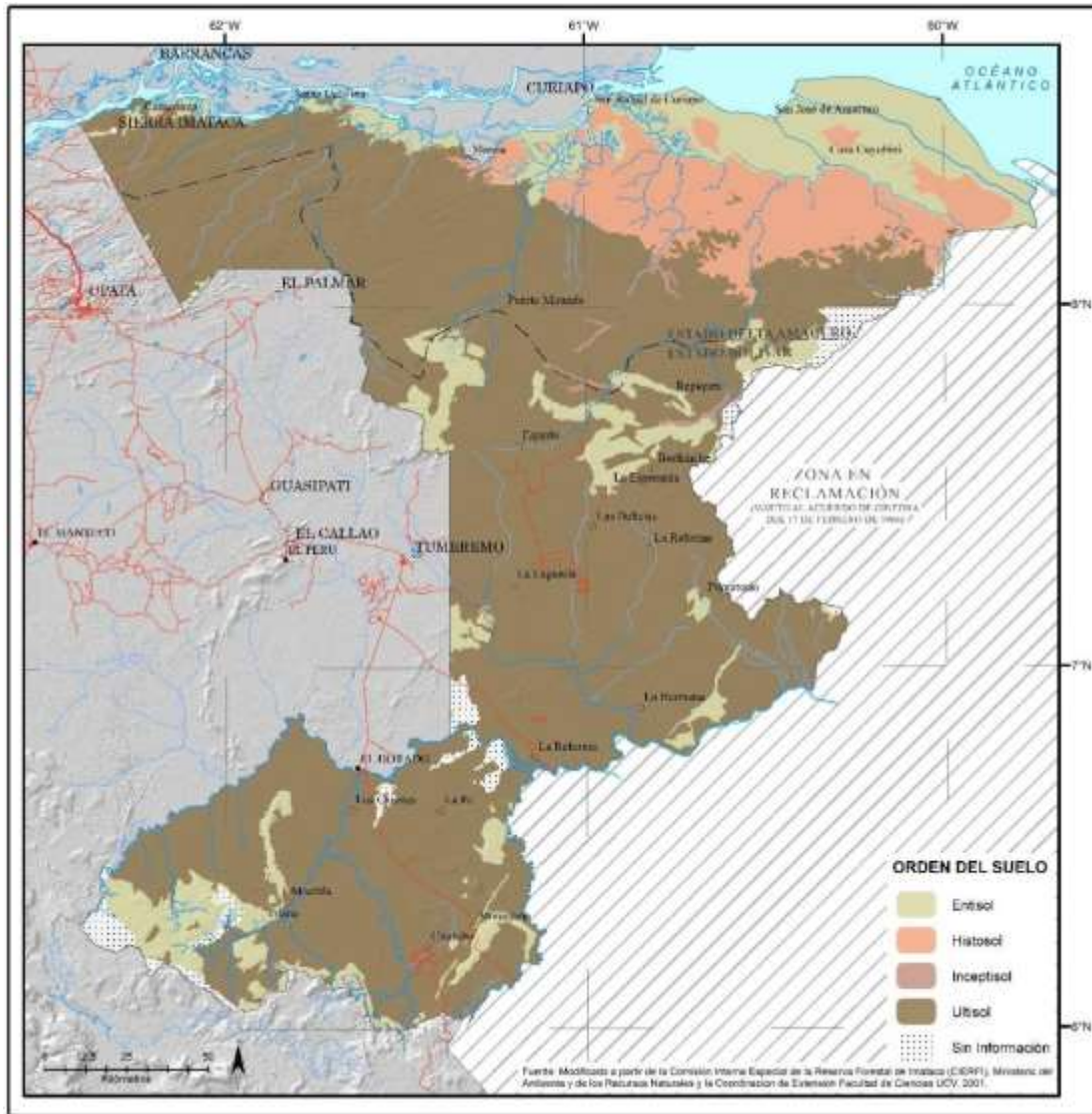


Figura 2.16. Órdenes del suelo.

Fuente: Modificado a partir de CIERFI-MARNR, 2001.

- **Hapluxtox:**

Se caracterizan por ser suelos lateríticos húmicos de baja fertilidad natural, pH bajo (ácido) de buen drenaje, de textura franca y pedregosos; este grupo se ubica en el sector Oeste de la RFI.

- **Troporthents:**

Son suelos de textura franco-arcillo-arenosa, con pH ácido, pedregosos y guijarrosos, además una fertilidad natural baja y buen drenaje.

Hacia la parte Norte de la RFI se encuentran asociaciones de dos o más grandes grupos de suelos. En la zona Este del Delta se consiguen asociaciones de Hidraquents, Tropohemists, Solfichidraquents, entre otros.

2.7. Cobertura y uso de la tierra

La cobertura y uso de la tierra del año de referencia 2018 se ha modificado a partir de los resultados obtenidos por Pacheco (2019) en el *Anexo Estimación de las emisiones evitadas directas e indirectas en los depósitos de biomasa terrestres de la RFI*.

Actualmente, la cobertura boscosa ocupa un 95,99% de la superficie de la RFI. El bosque húmedo tropical ocupa la mayor extensión (61,92%), seguido por: bosque de pantano (16,27%), bosque siempreverde (11,73%), bosque degradado (5,60%), bosque deciduo (0,25%) y bosque de inundación mareal (0,22%).

La RFI tiene un grado de intervención del 4,01% distribuidos así: herbazales (1,11%), minería (1,17%), cultivos (0,73%), pecuario (0,16%) y plantación forestal (0,05%). Para los servicios se tiene: vialidad (0,08%), cortafuego (0,02 %) y asentamientos (0,01%).

Los cuerpos de agua y las turberas ocupan una superficie de 0,46% y 0,21%, respectivamente.

La Figura 2.17 muestra la distribución espacial de la cobertura y uso de la tierra del año 2018.

2.8. Sistemas ecológicos

Los sistemas ecológicos presentados en el estudio "Reserva Forestal Imataca: Ecología y Bases Técnicas para el Ordenamiento Territorial" (Berroterán, 2004). Allí los sistemas fueron establecidos a través de un sistema jerárquico, multicategorico y subdivisivo, con seis niveles: provincia ecológica, subregión ecológica, megaecosistemas, macroecosistemas, mesoecosistemas y unidad discreta de ecosistemas. La Figura 2.18 muestra los sistemas ecológicos a nivel de megaecosistemas.

A continuación, se presenta un resumen de las características principales de los sistemas ecológicos a nivel de megaecosistemas (Berroterán, 2004).

- **Sistemas ecológicos de la región ecológica del Delta del Orinoco**

El Delta del Orinoco se forma cuando las aguas del río en su desembocadura sufren desbordamiento y acumulación de los sedimentos, lo cual se debe al efecto del nivel de base local y al represamiento del mar. En el Delta del Orinoco se presentan las subregiones ecológicas del Delta Superior e Inferior.

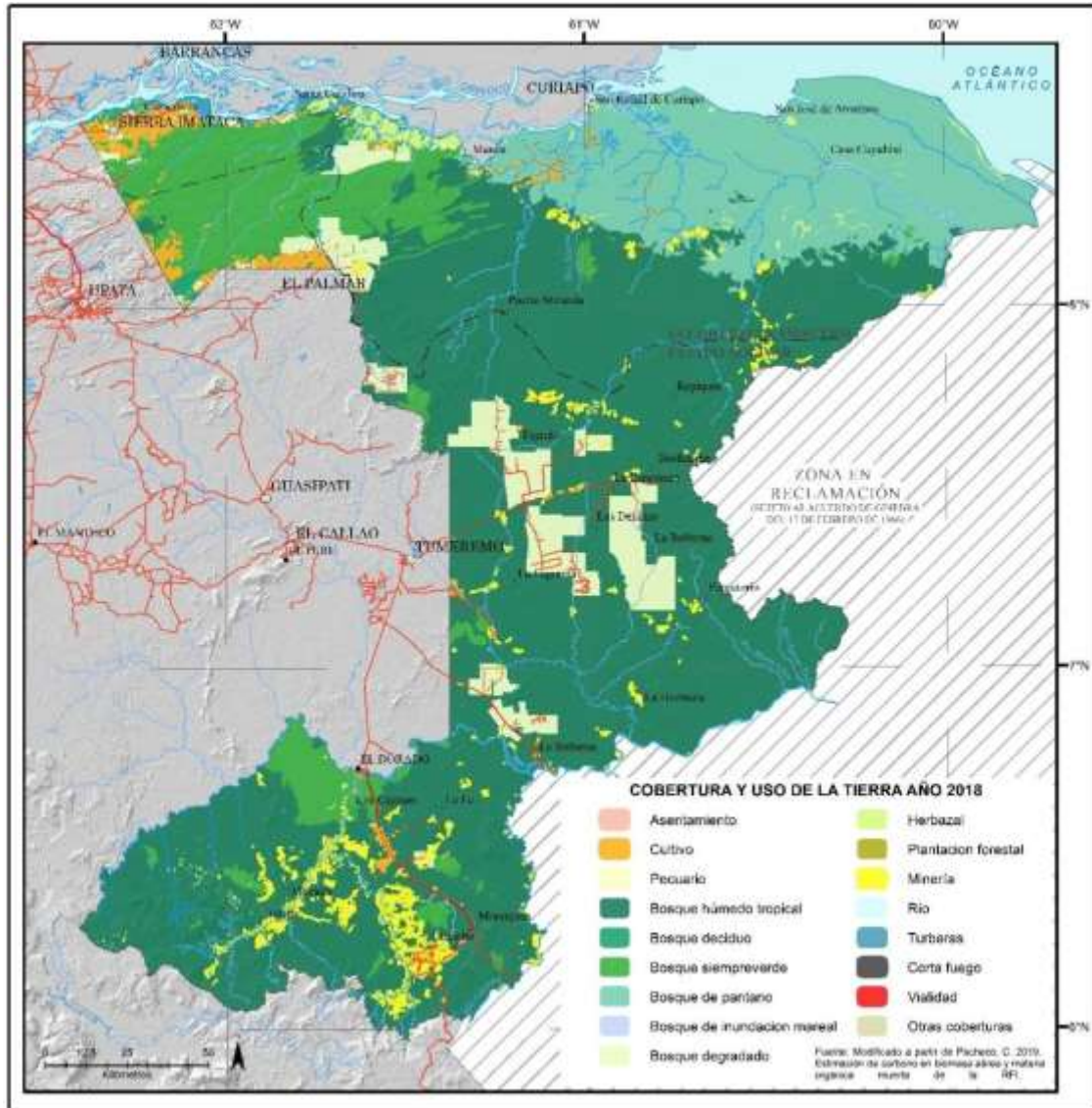


Figura 2.17. Cobertura y uso de la tierra. Año 2018.

Fuente: Modificado a partir de Pacheco, C. 2019. *Estimación de carbono en biomasa aérea y materia orgánica muerta de la RFI.*

Subregión ecológica del Delta Superior: El Delta Superior tiene una superficie de 397,5 km², la cual representa el 1% del área de estudio. Se caracteriza por presentar mal drenaje y efecto de inundación por desborde de los ríos, escorrentía de los paisajes superiores y acumulación de agua de lluvia. Dominan las planicies aluviales que son inundables en todas sus posiciones

geomorfológicas, a excepción de algunos bancos altos. Se presentan el megaecosistema fluvial reciente de planicie aluvial no disectada y el megaecosistema de planicie ligeramente disectada.

1. Planicie fluvial reciente no disectada: Está conformada por macroecosistemas de acumulaciones libres (diques y napas de desborde) y de decantación (llanuras inundables). Las acumulaciones libres se ubican por lo general en los brazos del río Orinoco. Los suelos son de texturas medias, asociados a suelos arcillosos. Drenaje deficiente y baja fertilidad natural, por la baja saturación de bases y por la acidez. La vegetación es de bosque bajo a medio y herbazal de pantano. Las acumulaciones por decantación tienen texturas finas, de color predominantemente gris debido al hidromorfismo. Los suelos son entisoles, mal drenados de origen fluvial. La vegetación dominante es la asociación de sabana inundable y herbazal de pantano.
2. Planicie fluvial ligeramente disectada: Está ubicada en el sector Noreste de la RFI, en el ápice del Delta Superior. En este macroecosistema la Formación Mesa está infrayaciendo a los depósitos fluviales recientes que afloran en la superficie, domina la llanura fluvial y vegetación de arbustales. Los suelos dominantes son kandiustults y epiaquepts.

Subregión ecológica del Delta Inferior: El Delta Superior tiene una superficie de 6 528,5 km², la cual representa el 17% del área de estudio. Tiene deposiciones fluvio-marinas o marinas y está constituido por paisajes de planicie deltaica que se caracterizan por la saturación hídrica, debido al estancamiento de las aguas de lluvia, desborde de ríos o caños, así como por la fluctuación de la marea. En esta subregión se presentan los megaecosistemas de planicies fluvio-marinas y planicies marinas.

3. Planicie fluvio-marina: Son llanuras cenagosas, la superficie es plana de colmatación fluvio-marina, con anegamiento prolongado. En estas llanuras cenagosas se encuentran, además, pequeñas cubetas de marea que constituyen cuerpos de agua o áreas de turberas. Las cubetas de desborde y marismas se asocian a suelos minerales recientes (fluvaquents, endoaquents y dystrudepts). La vegetación predominante es el bosque siempreverde de pantano. Las llanuras cenagosas se identifican con suelos orgánicos, de orden histosoles (haplofibrists y haplohemists). Cubierto por un bosque siempreverde de pantano. En los suelos minerales de esta unidad se han identificado entisoles (endoaquents) e inceptisoles (endoaquepts) asociado a histosoles con horizonte sulfúrico (sulfihemists). La planicie fluvio-marina está asociada a turberas, que sustentan una vegetación de bosque siempreverde de pantano asociada a pantanos herbáceos arbolados. Las turberas constituyen medios aislados de la sedimentación de origen mineral. Hidricamente sobresaturadas y presentan suelos orgánicos de orden histosoles.
4. Planicie marina: Ubicada al Noreste de la RFI, las depositaciones son marinas y hay influencia directa de la marea diaria. Los relieves dominantes son las marismas, bancos de estuarios y cordones litorales. Los suelos dominantes son histosoles (haplofibrists,

haplohemists, sulfihemists) y entisoles (endoaquents) con vegetación de bosque siempreverde de pantano permanente y de manglar.

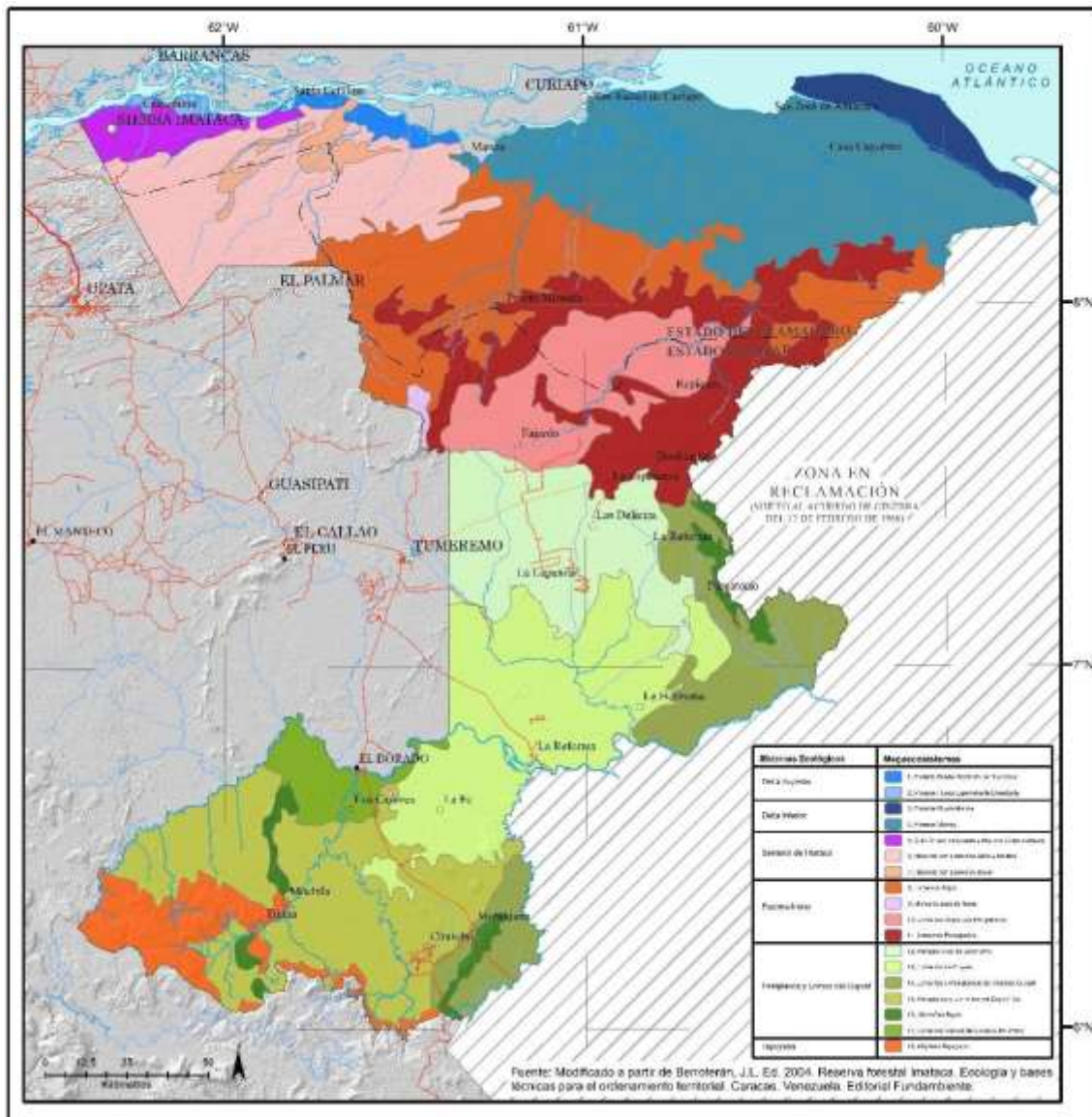


Figura 2.18. Sistemas ecológicos (Megaecosistemas)

Fuente: Modificado a partir de Berroterán, 2004

- **Sistemas ecológicos de la región ecológica del Escudo Guayanés**

El Macizo de Guayana es de origen precámbrico, compuesto por rocas metamórficas, con predominio de gneises y esquistos, con intrusiones de rocas ígneas de tipo granito y cuarzo. Sobre el basamento del Escudo Guayanés se encuentran otras rocas metamórficas (cuarcitas ferruginosas) atravesadas por vetas cuarzosas, que representan la serie Imataca. El basamento del Escudo Guayanés fue cubierto por capas sedimentarias de origen continental donde predominan las areniscas y cuarcitas, las cuales están presentes al sur de la RFI.

Subregión ecológica Serranía Imataca: Tiene una extensión de 4 461,1 km² que representa el 12% de la RFI. Se extiende en forma alargada en dirección Suroeste-Noreste, siguiendo el sentido de las fallas Imataca y El Pao. Está conformada por lomeríos altos y medios con inclusiones de altiplanicies. Está constituido por filas y lomas. Las filas son de origen estructural y las lomas se han formado por erosión. El relieve es quebrado y/o escarpado. Los mesoclimas son subhúmedo seco, subhúmedo húmedo y húmedo. La Sierra Imataca está conformada por los siguientes megaecosistemas: subhúmedo de lomas y planicies coluvio-aluviales, húmedo con lomeríos altos y húmedos con lomeríos bajos.

5. Subhúmedo de lomas y planicie coluvio-aluvial: en los sistemas ecológicos de lomeríos del mesoclima subhúmedo domina el bosque siempreverde estacional, mientras que en los lomeríos con mesoclima subhúmedo seco dominan los bosques deciduos.
6. Húmedo con lomeríos altos y medios: dominan los sistemas ecológicos de lomeríos altos y medios con pendientes entre 30 y 60% o mayores. Predominan las filas estructurales, con vegas angostas y planos interlomaes en las partes bajas del mesorelieve. Domina el bosque siempreverde estacional alto asociado al bosque semisempreverde y el bosque siempreverde húmedo tropical asociado al semisempre verde estacional alto. Los suelos dominantes son ultisoles de régimen údico (udults), con baja saturación de bases, asociados a estos suelos se presentan ustorthens. Los afloramientos rocosos son comunes en estos tipos de macroecosistemas.
7. Húmedo con lomeríos bajos: Predominan las lomas, con vegas y planos interlomaes en las partes bajas del mesorelieve. El material geológico está representado por granitos de la Formación Imataca. Los suelos dominantes son ultisoles profundos, de régimen údico (udults), con horizonte kándico de baja capacidad de intercambio catiónico lo que indica baja saturación de bases. La vegetación predominante es el bosque siempreverde estacional alto asociado al bosque semisempreverde y el bosque siempreverde húmedo tropical asociado al semisempreverde estacional alto.

Subregión ecológica Pastora-Nuria: Tiene una extensión de 9 902,2 km² que representa el 26% de la RFI. Está ubicada en la zona norte del sector central de la RFI y se encuentra conformada por lomeríos, peniplanicies y montañas bajas. El mesoclima es húmedo. Predomina la provincia geológica Pastora, con alguna presencia de afloramientos de la provincia Imataca hacia el norte de la unidad. La subregión Pastora–Nuria está conformada por los siguientes megaecosistemas:

lomeríos bajos con peniplanicies, lomeríos altos y medios, lomeríos bajos y montaña baja de Nuria.

8. Lomeríos bajos: Dominan los sistemas ecológicos de lomeríos bajos quebrados y muy quebrados. Están constituidos por granitos, metalavas y filitas. El mesoclima es húmedo, sin déficit hídrico. Domina el bosque siempreverde húmedo tropical. Los suelos dominantes en las lomas son ultisoles moderadamente esqueléticos, de régimen údico (udults), con un horizonte argílico (hapludults, y paleudults). En las Interlomas, los ultisoles son mal drenados y se identifican como epiaquults.
9. Montaña baja de Nuria: Está ubicada en el límite Oeste de la RFI, altitud 500 a 550 msnm, constituida por diabasa, grabo y metalavas, con relieves de sierras, vigas, diques y lomas. Los suelos son superficiales (udorthents) asociados a afloramientos rocosos y a ultisoles, moderadamente profundos, (humults). Domina el bosque siempreverde húmedo tropical, asociado al bosque siempreverde estacional medio.
10. Lomeríos bajos con peniplanicies: Consiste en macroecosistemas de lomeríos bajos quebrados y muy quebrados. Están constituidos por granitos, metalavas y filitas. Mesoclima húmedo. Domina el bosque siempreverde húmedo tropical asociado al bosque siempreverde estacional alto y medio y el bosque siempreverde estacional alto asociado al bosque siempreverde. Se presentan macroecosistemas de lomeríos altos y escarpados de la Sierra Imataca que tienen alineamientos en sentido Suroeste a Noreste, al igual que las fallas Imataca y El Pao. En el contacto con el Delta del Orinoco, se presentan relieves de colinas que constituyen peniplanicies suavemente onduladas disectadas por valles que presentan suelos ultisoles, inceptisoles y entisoles, que pueden ser mal o bien drenados con pedregosidad en el perfil. Asociados a las peniplanicies se encuentran los lomeríos medios con vegetación de bosque siempreverde húmedo tropical. Al norte de la montaña de Nuria existen lomas medias, material geológico de andesitas, bosque siempreverde húmedo tropical. Los suelos dominantes en las lomas bajas y colinas son ultisoles profundos de régimen udico (udults).
11. Lomeríos escarpados: Está conformado por lomeríos bajos y medios escarpados. Los materiales geológicos predominantes son granitos, metalavas de textura media y pesada y anfibolitas, relacionadas con el complejo de Supamo y el cinturón de rocas verdes de la formación El Callao. Los suelos dominantes en las lomas son ultisoles. El clima es húmedo. Domina el bosque siempreverde húmedo tropical asociado con el bosque siempreverde estacional.

Subregión de peniplanos y lomas del Cuyuní: Tiene una extensión de 15 487,8 km² que representa un 41% de la RFI. Está ubicada en la zona central y sur y conformada por peniplanicies y lomeríos. Está enmarcada en la provincia geológica Pastora. El clima es variado, desde subhúmedo-húmedo hasta hiperhúmedo. La subregión de peniplanos y lomas del Cuyuní está conformada por los siguientes megaecosistemas en climas húmedos: peniplanicies de

Botánamo, lomeríos de Bochinche, lomeríos del Cuyuní, peniplanos y lomeríos del Sureste, peniplanos y lomeríos del Suroeste y montañas bajas. En el clima subhúmedo se encuentra el megaeosistema de lomeríos medios.

12. Peniplancie de Botanamo: Ubicada en la zona central al Oeste de la RFI. Conformada por peniplancias suavemente onduladas, sobre metalavas y por peniplancias onduladas sobre granitos. Clima húmedo. Domina el bosque siempreverde húmedo tropical alto en las zonas más planas, asociado al bosque siempreverde estacional medio y bajo. Los suelos son ultisoles de régimen údico (udults).
13. Lomeríos del Cuyuní: Compuesto por relieves de lomas, alternando con planos interlomaes conformados por abanicos aluviales. Predomina el bosque siempreverde húmedo tropical asociado al siempreverde estacional alto y medio. Los lomeríos más escarpados están relacionados con metalavas y rocas básicas y los menos quebrados con rocas graníticas.
14. Lomeríos y peniplancias del Venamo-Cuyuní: Es un sistema complejo con mezcla de lomeríos bajos, medios y peniplancias. Clima hiperhúmedo con vegetación de bosque siempreverde húmedo tropical, Prevalen los granitos con ciertas inclusiones de metalavas. Los suelos tienden a ser udults con horizonte argílico.
15. Peniplanos y lomeríos del Cuyuní Sur: Ubicada al Sur de la RFI. El material geológico de los peniplanos está conformado por granitos, con depositaciones delgadas y localizadas de materiales coluvio-aluviales. El material geológico de los lomeríos está constituido por metalavas. El clima es húmedo. La vegetación dominante es bosque siempreverde húmedo tropical. Los suelos dominantes en las colinas (peniplancie) son ultisoles de régimen údico (udults). En la base de las colinas y planos bajos se presentan entisoles mal drenados (dystrudepts) asociados a depósitos coluvio-aluviales. En las lomas los suelos dominantes son ultisoles.
16. Montañas bajas: Son sistemas que se elevan sobre las peniplancias y lomeríos. Son paisajes de forma alargada, con apariencia de fila montañosa. Contienen meta-lavas, andesitas y anfibolitas. Los suelos son ultisoles. Clima húmedo. La vegetación dominante es el bosque siempreverde húmedo tropical.
17. Lomeríos medios de clima sub-húmedo: Conformado por lomas medias. Los materiales parentales son meta-lavas con recubrimientos de materiales coluvio-aluviales arcillosos. El clima es subhúmedo-húmedo. La vegetación dominante en las lomas quebradas es el bosque siempreverde bajo. En las lomas más inclinadas predomina el bosque siempreverde estacional bajo, con presencia de bosque siempreverde bajo. Los suelos dominantes en las zonas intermedias de las lomas y planos interlomaes son ultisoles de régimen ústico (ustults).

Subregión ecológica tepuyana: Tiene una extensión de 1 292,7 km² que representa un 3% de la RFI. Está constituida por altiplanicies y piedemonte. La altiplanicie es un paisaje caracterizado

por una configuración tabular que domina los paisajes vecinos, ocupa una posición relativamente elevada con respecto al nivel de base y da origen a un relieve plano, alto, de mesas, conocido regionalmente como tepuy, se incluyen también las cuestas, que presentan poca inclinación, pero con menos elevación que las mesas. Las altiplanicies se corresponden con la formación Roraima.

Altiplano tepuyano: Compuesto por altiplanicies poco disectadas con mesas y cuestas y por altiplanicies más disectadas con lomas y planos de erosión o depositación. En el pie de la altiplanicie se tiene el talud de derrubios, que constituye el piedemonte. El clima es húmedo y la vegetación es de bosque siempreverde bajo no estacional. En las altiplanicies más conservadas predominan los suelos humults asociados a udorthents, mientras que en las altiplanicies más inclinadas se presentan los udults asociados a suelos mal drenados (epiaquults), udorthents y quartzipsamments. En las altiplanicies disectadas y el piedemonte dominan los udorthents, asociados a udults y humults.

3. Caracterización Social de la Reserva Forestal Imataca

La Reserva Forestal Imataca (RFI) es un Área de Administración Especial (ABRAE), legalmente creada por el estado venezolano en 1963 (Gaceta Oficial N° 27 044), que comprende una superficie total de 38 219 km² y un espacio etnocultural con más de 29 000 habitantes de diversas comunidades indígenas (Pemón, Kariña, Warao, Arawak y Akawaio) (INPARQUES, 2018).

De la superficie total de la Reserva el 59,5% se localiza en el estado Bolívar y el restante (40,6%) en el estado Delta Amacuro, abarcando un total de seis (6) municipios, Sifontes, Padre Pedro Chien, Roscio y Piar (del estado Bolívar), Antonio Díaz y Casacoima (del estado Delta Amacuro) y trece (13) parroquias (Cuadro 1).

Tabla 2.2. División Político-Territorial de la Reserva Forestal Imataca.

	Estado Bolívar				Estado Delta Amacuro	
	Municipios				Municipios	
Área (%)	Sifontes 54,6	Padre Pedro Chien 4,6	Piar 0,1	Roscio 0,2	Antonio Díaz 36,5	Casacoima 4,1
Parroquias	Sección Capital Sifontes Dalla Costa San Isidro	Padre Pedro Chien	Sección Capital Piar	Salom	Curiapo Almirante Luis Brión Francisco Aniceto Lugo	Imataca Juan Bautista Arismendi Manuel Piar Rómulo Gallegos

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE (2013)

Considerando al área ocupada de los distintos municipios en la Reserva (Figura 22), se tiene que los de mayor importancia serían: Sifontes, Antonio Díaz, Padre Pedro Chien y Casacoima, conforme a esto a continuación se procede a la Caracterización Social de estos cuatro (4) municipios; este diagnóstico considera el análisis de las variables socio-económicas con información disponible de entes oficiales.

3.1. Aspectos Demográficos

Los aspectos demográficos analizados involucran la caracterización desde el punto de vista de la estructura y dinámica de la población.

3.1.1. Estructura de la población

Para comprender la estructura de la población en el área de estudio, se describen en este apartado diferentes aspectos relacionados con la estructura demográfica, geográfica, económica y educacional.

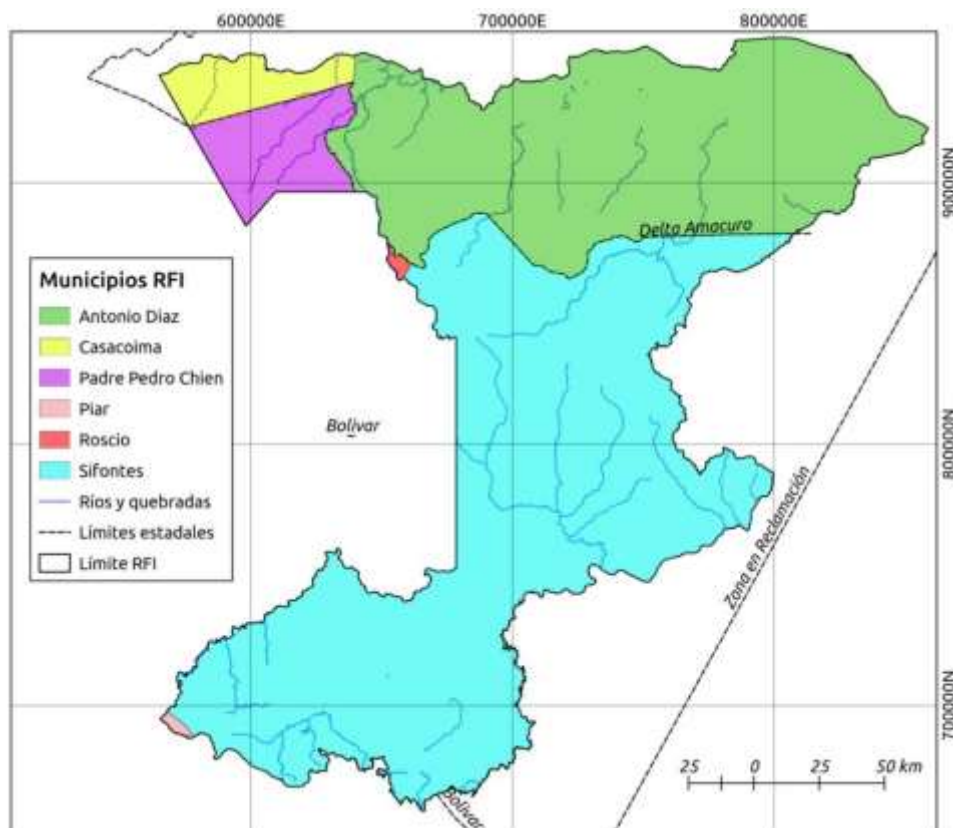


Figura 2.18. División Político-Territorial de la Reserva Forestal Imataca

La estructura demográfica considera las características de la población de los estados Bolívar y Delta Amacuro, así como, sus municipios y parroquias. En este sentido, se tiene que según el

Instituto Nacional de Estadística (INE), para el año 2011, la población residente del estado Bolívar fue de 1 413 115 habitantes; 198 269 habitantes más en comparación con el año 2001, representando un crecimiento relativo de 16,3% y una tasa de crecimiento interanual de 1,5%. Si la cifra registrada en el 2011 es comparada con el censo de 1961, el cual registró 213 543 habitantes, resulta que la población del estado se ha incrementado en más de 6 veces en 50 años, considerando además que la densidad demográfica entre 1961 y 2011 pasó de 0,9 a 5,9 habitantes por km² (Tabla 2.3).

La población del estado Delta Amacuro para el 2011 fue de 165 525 habitantes, 67 538 habitantes más que los registrados en el año 2001. Esto representa un crecimiento relativo de 68,9% y una tasa de crecimiento interanual de 5,4%. Comparando la población del año 2011 con la de 1961, resulta que la población se ha incrementado casi 5 veces en 50 años, al pasar de 33 979 a 165 525 habitantes e indicando que la densidad demográfica pasó de 0,8 a 4,1 habitantes por km² (Tabla 2.4).

Tabla 2.3. *Población total y densidad del estado Bolívar en el período 1961 -2011*

Población y Densidad		
Período 1961 - 2011		
Censo	Población	Densidad (hab/km²)
1961	213 543	0,9
1971	391 665	1,6
1981	668 340	2,8
1990	900 310	3,8
2001	1 214 846	5,1
2011	1 413 115	5,9

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE (2011)

Tabla 2.4. *Población total y densidad del estado Delta Amacuro en el período 1961 -2011*

Población y Densidad		
Período 1961 - 2011		
Censo	Población	Densidad (hab/km²)
1961	33 979	0,8
1971	48 139	1,2
1981	56 720	1,4
1990	84 564	2,1
2001	97 987	2,4
2011	165 525	4,1

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE (2011)

En el estado Bolívar, los cuatro municipios presentan una población total de 185 594 habitantes, de lo cual 134 541 habitantes corresponden a las parroquias distribuidas en la Reserva (Tabla 2.5). En cuanto al estado Delta Amacuro, los 2 municipios involucrados tienen una población total de 56.210 habitantes, de esta población 39.593 habitantes corresponden a las parroquias presentes en la reserva forestal (Tabla 2.6).

Con respecto a otros datos de la estructura demográfica, la composición por edad y sexo de la población muestran como está estructurada, clasificándola por género y grupos de edades. Considerando la información presentada en la Tabla 2.7, se concluye que en ambos estados en la Reserva se presentó un mayor número de habitantes de sexo masculino, sin embargo, la diferencia con la población femenina es pequeña. En cuanto al grupo de edad, la población en general para ambos estados se caracterizó por ser joven y presentó un crecimiento relativo conforme aumentaba la población.

Tabla 2.5. *Población por municipios y parroquias del estado Bolívar en la Reserva Forestal Imataca (Censo 2011)*

Estado Bolívar	
Censo 2011	
Municipio y Parroquia	Población Total (hab)
<i>Municipio Piar</i>	98 274
Parroquia Sección Capital Piar	83 748
<i>Municipio Sifontes</i>	50 082
Parroquia Sección Capital Sifontes	29 906
Parroquia Dalla Costa	11 189
Parroquia San Isidro	8 987
<i>Municipio Roscio</i>	21 750
Parroquia Salom	711
<i>Municipio Padre Pedro Chien</i>	15 488
Parroquia Padre Pedro Chien	15 488

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE. 2011.

Tabla 2.6. Población por municipios y parroquias del estado Delta Amacuro en la Reserva Forestal Imataca (Censo 2011)

Estado Delta Amacuro	
Censo 2011	
Municipio y Parroquia	Población Total (hab)
Municipio Antonio Díaz	26 655
Parroquia Curiapo	6 232
Parroquia Almirante Luis Brión	1 410
Parroquia Francisco Aniceto Lugo	2 449
Municipio Casacoima	29 555
Parroquia Imataca	10 955
Parroquia Juan Bautista Arismendi	3 490
Parroquia Manuel Piar	12 413
Parroquia Rómulo Gallegos	2 644

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE (2011)

Tabla 2.7. Estructura de la población, según grupo de edad y sexo de los municipios en la Reserva Forestal Imataca

Estado Bolívar							
Municipio Sifontes				Municipio Padre Pedro Chien			
Año 2011	Hombres	Mujeres	Total	Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total
0 - 14	8 905	8 051	16 956	0 - 14	2 408	2 262	4 670
15 - 64	1 6464	15 021	31 485	15 - 64	5 547	4 385	9 932
65 y más	883	758	1 641	65 y más	503	383	886
<i>Total</i>	<i>26 252</i>	<i>23 830</i>	<i>50 082</i>	<i>Total</i>	<i>8 458</i>	<i>7 030</i>	<i>15 488</i>
Estado Delta Amacuro							
Municipio Antonio Díaz				Municipio Casacoima			
Año 2011	Hombres	Mujeres	Total	Grupo de Edad	Hombres	Mujeres	Total
0 - 14	5 803	5 508	11 311	0 - 14	5 459	5 001	10 460
15 - 64	7 832	6 832	14 664	15 - 64	9 534	8 221	17 755
65 y más	347	333	680	65 y más	812	528	1 340
<i>Total</i>	<i>13 982</i>	<i>12 673</i>	<i>26 655</i>	<i>Total</i>	<i>15 805</i>	<i>13 750</i>	<i>29 555</i>

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE (2011)

En cuanto a la estructura geográfica de los aspectos demográficos, se considera la localización y distribución espacial de la población, a través de indicadores como la densidad. Para comprender

mejor la estructura geográfica, las Tablas 2.8 y 2.9 presentan la densidad de la población y superficie del estado Bolívar y Delta Amacuro, según todos los municipios y parroquias pertenecientes a la Reserva para el año 2011.

Tabla 2.8. Densidades de población y superficie por municipios y parroquias del estado Bolívar en la Reserva Forestal Imataca

Municipio y Parroquia	Población Total (hab)	Superficie (km ²)	Densidad de Población (hab/km ²)
<i>Municipio Piar</i>	98 274	14 912	6,59
Parroquia Sección Capital Piar	83 748	4 566	18,34
<i>Municipio Sifontes</i>	50 082	27 223	1,84
Parroquia Sección Capital Sifontes	29 906	12 454	2,4
Parroquia Dalla Costa	11 189	7 510	1,49
Parroquia San Isidro	8 987	7 259	1,24
<i>Municipio Roscio</i>	21 750	6 255	3,48
Parroquia Salom	711	1 002	0,71
<i>Municipio Padre Pedro Chien</i>	15 488	3 640	4,25
Parroquia Padre Pedro Chien	15 488	3 640	4,25

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

Tabla 2.9. Densidades de población y superficie por municipios y parroquias del estado Delta Amacuro en la Reserva Forestal Imataca.

Municipio y Parroquia	Población Total (hab)	Superficie (km ²)	Densidad de Población (hab/km ²)
<i>Municipio Antonio Díaz</i>	26 655	21 219	1,26
Parroquia Curiapo	6 232	4 592	1,36
Parroquia Almirante Luis Brión	1 410	3 498	0,40
Parroquia Francisco Aniceto Lugo	2 449	7 455	0,33
<i>Municipio Casacoima</i>	29 555	2 742	13,78
Parroquia Imataca	10 955	964	11,36
Parroquia Juan Bautista Arismendi	3 490	622	5,61
Parroquia Manuel Piar	12 413	181	68,58
Parroquia Rómulo Gallegos	2 644	936	2,82

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

En relación con la superficie ocupada por estas divisiones político administrativas, el municipio Sifontes del estado Bolívar ocupa el 54% del territorio total de la reserva con una población de 50 082 habitantes, seguido del municipio Antonio Díaz del estado Delta Amacuro con el 36% y una población de 26 655 habitantes. El municipio con mayor número de habitantes corresponde al municipio Piar, sin embargo, ocupa la menor superficie.

El municipio Padre Pedro Chien del estado Bolívar y Casacoima del estado Delta Amacuro ocupan una extensión pequeña con respecto a los otros municipios, no obstante, en comparación con su tamaño total, vale mencionar que casi toda su extensión forma parte de la Reserva. Por lo tanto, la población de estos municipios es de gran interés. La población del municipio Padre Pedro Chien es de 15 488 habitantes y del municipio Casacoima es de 29 555 habitantes.

Para finalizar la estructura geográfica, a continuación, Tabla 2.10 se muestra la clasificación de la población según hábitat mediante la distribución urbano – rural. Este análisis se realizó para los municipios más importantes en la Reserva, los cuales presentan una distribución principalmente urbana, excepto el municipio Antonio Díaz con una población 100% rural.

Tabla 2.10. Población urbana y rural por municipios en la Reserva Forestal Imataca

Estado	Municipio	Población Urbana (%)		Población Rural (%)		Población Total
		Total	%	Total	%	
<i>Estado Bolívar</i>	Municipio Sifontes	38 062	76	12 020	24	50 082
	Municipio Padre Pedro Chien	8 518	55	6 970	45	15 488
<i>Estado Delta Amacuro</i>	Municipio Antonio Díaz	-	-	26 655	100	26 655
	Municipio Casacoima	20 984	71	8 571	29	29 555

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

El análisis de la estructura económica considera la población económicamente activa (PEA) como un indicador que permite estimar el grado de desarrollo económico de las entidades estatales que forman parte de la Reserva. Conforme a esto, se analizó la PEA y la tasa de desempleo para los estados Bolívar y Delta Amacuro.

Según estadísticas generales existentes (INE, 2015), en el estado Bolívar la PEA fue de 790 480 personas, de las cuales 67 817 se encontraban en condiciones de desocupados, arrojando una tasa de desempleo de 0,01. Para el estado Delta Amacuro la PEA fue de 66 261 personas, de las cuales 7 274 estaban en condición de desocupados, obteniendo una tasa de desempleo de 0,10. Generalmente, las tasas de desempleo se hayan condicionadas por el tamaño de las poblaciones, esperándose mayores tasas en las áreas con mayor población, sin embargo, estos resultados

muestran que la mayor tasa de desempleo (0,10) corresponde al estado con menor tamaño poblacional (Delta Amacuro).

En cuanto a la estructura educacional se considera el grado de escolaridad, el cual es un indicador del nivel educativo de la población en la Reserva. El número de población según nivel educativo se presentará por municipios y para efectos de análisis, la estructura educacional será relacionada con la estructura geográfica según su distribución urbano – rural. En la Tabla 2.11, puede observarse que la población de los municipios Sifontes y Casacoima presentan mayormente un nivel educativo primario y secundario, a pesar que más del 70% de su población se distribuye en áreas urbanas. El municipio Antonio Díaz muestra características similares, sin embargo, se caracteriza por ser una población 100% rural. El municipio Padre Pedro Chien también señala mayor población con nivel educativo primario y secundario, aunque su población puede ser calificada como urbana-rural. Estos datos presentan una relación estrecha con la población total de los municipios, existiendo las mayores cifras de los niveles educativos en los municipios con mayor población.

Tabla 2.11. *Nivel educativo por municipios de la Reserva Forestal Imataca*

Municipio		Nivel Educativo					Total
		Inicial	Primaria	Secundaria	Técnico Superior	Universitario	
Estado Bolívar	Municipio Sifontes	1 603	16 846	17 049	1 609	2 396	39 503
	Municipio Padre Pedro Chien	440	5 371	5 248	322	1 149	12 530
Estado Delta Amacuro	Municipio Antonio Díaz	879	6 704	2 400	69	535	10 587
	Municipio Casacoima	1 523	9 997	10 314	652	1 877	24 363

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

3.1.2. Estructura de la población indígena

La estructura de la población indígena permitió conocer los diferentes aspectos demográficos y geográficos. Según el INE, en Venezuela, ha existido un incremento considerable de la población indígena desde 1961 hasta 2011. La población pasó de 75 604 (1961) a 724 592 (2011) habitantes autoreconocidos como pertenecientes a algún pueblo indígena.

La población indígena residente en el estado Bolívar registró para el año 2011 un total de 54 686 habitantes, lo que representa el 8% de la población indígena total. En el estado Delta Amacuro, se identificó como perteneciente a algún pueblo indígena un total de 41 543 habitantes, lo que equivale al 6%. Comparando estos datos con el año 2001, es evidente que para el 2011 hubo un incremento de la población indígena para ambos estados (Tabla 2.12).

Tabla 2.12. Población indígena distribuidas por entidades en Venezuela

Entidades	Población Total	Población Indígena Censo 2001	Población Indígena Censo 2011
TOTAL	27 227 930	506 341	724 592
Amazonas	146 480	53 748	76 314
Anzoátegui	1 469 747	14 147	33 848
Apure	459 025	9 395	11 559
Bolívar	1 413 115	49 791	54 686
Delta Amacuro	165 525	30 791	41 543
Monagas	905 443	8 491	17 898
Sucre	896 291	3 679	22 213
Zulia	3 704 404	313 714	443 544
Nueva Esparta	491 610	3 335	2 200
Lara	1 774 867	1 320	2 112
Resto de Entidades	15 801 423	17 930	18 675

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

Sin embargo, si se analizan los datos de forma porcentual, para el año 2001, la población registró mayor porcentaje con respecto a la población indígena total. Para el estado Bolívar, la población representó el 10% y en el estado Delta Amacuro el 7%. Como lo demuestra la Tabla 19, los estados analizados se encuentran entre las cuatro entidades con mayor población indígena. Según el orden de mayor a menor, se tiene al estado Zulia, Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro.

En cuanto a la población indígena según municipios de interés, en la Tabla 2.13 se presenta la población total para el año 2011. Puede apreciarse que el municipio Antonio Díaz presenta el mayor número de habitantes indígenas, seguido del municipio Sifontes, Casacoima y Padre Pedro Chien con el menor tamaño de población indígena.

La estructura geográfica de la población indígena se presenta la Tabla 2.14 clasificada según hábitat mediante la distribución urbano – rural. En el municipio Sifontes, Antonio Díaz y Casacoima la población es mayormente rural, en cambio, en el municipio Padre Pedro Chien la distribución urbano – rural presenta poca diferencia.

Tabla 2.13. Población indígena distribuidas por municipios por municipios de la Reserva Forestal Imataca, para el año 2011

Estado	Municipios	Población Total
Estado Bolívar	Municipio Sifontes	8 746
	Municipio Padre Pedro Chien	43
Estado Delta Amacuro	Municipio Antonio Díaz	24 577
	Municipio Casacoima	428

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

Tabla 2.14. Población indígena según distribución urbano- rural en la Reserva Forestal Imataca, para el año 2011

Estado	Municipios	Población Urbana (%)	Población Rural (%)
Estado Bolívar	Municipio Sifontes	8	92
	Municipio Padre Pedro Chien	58	42
Estado Delta Amacuro	Municipio Antonio Díaz	0	100
	Municipio Casacoima	21	79

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2011.

La población indígena está organizada espacialmente en diferentes etnias. La Reserva Forestal Imataca ha sido hábitat natural de las etnias indígenas Warao (al norte), Pemón (al sur), Kariña (al centro), Akawaio (al este) y algunos representantes de los Arawakos (al centro-sur y en la cuenca del río Barima). En 1982 se estimaba que la población indígena para Pemón, Akawaio y Arawako es de 4 716, Kariña de 1 141 y Warao de 964 habitantes (OCEI, 1982), ya reportes más recientes consideran que son más de 29 000 los habitantes indígenas en la Reserva (INPARQUES, 2018).

3.1.3 Dinámica de la población

Para conocer la dinámica de la población en la Reserva a continuación se describen algunos hechos vitales del movimiento natural, como son la morbilidad y las tendencias de crecimiento y migraciones.

En este análisis, la morbilidad consistió en conocer la proporción de personas que padecen enfermedades en los estados Bolívar y Delta Amacuro. Según la Dirección General de Epidemiología y la Dirección de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio del Poder Popular para la Salud, para el año 2011, ambos estados registraron la morbilidad según las enfermedades que se encuentran en las Tablas 2.15 y 2.16.

Tabla 2.15. *Morbilidad por enfermedades en el estado Bolívar*

Lugar	Enfermedades	N° de casos
1	Sistema Respiratorio	239 622
2	Infecciosas y Parasitarias	174 561
3	Sistema Genito-Urinario	40 323
4	Sistema Digestivo	36 785
5	De la Piel y Tejidos Subcutáneo	35 206
6	Sistema Circulatorio	31 220
7	Sistema Osteomuscular y Tejido Conjuntivo	16 612
8	Embarazo, Parto y Puerperio	16 171
9	De la Sangre y Org. Hematopoy.	13 339
10	Endocrinas, Nutricionales y Metabólicas	12 692
11	Del Oído y Apófisis Mastoides	9 878
12	Del Ojo y sus anexos	8 097
13	Sistema Nervioso	4 246
14	Trastornos Mentales y del Comportamiento	2 316
15	Neoplasias	802

Fuente: Elaboración propia sobre la base del Anuario de morbilidad, 2011.

Tabla 2.16. *Morbilidad por enfermedades en el estado Delta Amacuro*

Lugar	Enfermedades	N° de casos
1	Infecciosas y Parasitarias	46 494
2	Sistema Respiratorio	42 523
3	De la Piel y Tejidos Subcutáneo	7 469
4	Sistema Digestivo	4 933
5	Sistema Genito-Urinario	4 879
6	Sistema Circulatorio	4 746
7	Embarazo, Parto y Puerperio	4 191
8	Sistema Osteomuscular y Tejido Conjuntivo	2 380
9	Del Ojo y sus anexos	2 177
10	Del Oído y Apófisis Mastoides	1 895
11	De la Sangre y Org. Hematopoy.	1 574
12	Endocrinas, Nutricionales y Metabólicas	1 440
13	Sistema Nervioso	334
14	Trastornos Mentales y del Comportamiento	252
15	Neoplasias	230

Fuente: Elaboración propia sobre la base del Anuario de morbilidad, 2011.

Según el orden, en el estado Bolívar el mayor número de casos registrados estuvo representado por enfermedades del sistema respiratorio con un total de 239 622 casos, seguido de las enfermedades infecciosas y parasitarias con 174 561 casos. Por otro lado, en el estado Delta Amacuro las enfermedades infecciosas y parasitarias presentaron el mayor número de casos con 46 494, seguidamente de las enfermedades de tipo respiratorias con 42 523 casos reportados. Como se observa, en ambos estados las dos enfermedades que presentaron el mayor número de casos de morbilidad fueron las del mismo tipo. En cuanto a las enfermedades con el menor número de casos, para ambos estados son las de tipo Neoplasias.

Las tendencias de crecimiento y migración fueron determinadas a través del indicador de coeficiente de poblamiento para los municipios y parroquias de mayor interés en la Reserva (Tabla 2.17). Este coeficiente permitió conocer la relación que se establece entre el hombre y el espacio, además del ritmo de crecimiento o de disminución de la población por unidad de superficie, en este caso, por cada 100 km² (hab/100km²) para los años intercensales de 2001 – 2011.

Tabla 2.17. Coeficiente de poblamiento en los municipios de interés para los años intercensales 2001 – 2011.

Municipio y Parroquia	Población 2001	Población 2011	Superficie en la RFI (km ²)	Coeficiente de Poblamiento (hab/100km ²)
Estado Bolívar				
<i>Municipio Sifontes</i>	26 947	50 082	20 814	11
Parroquia Sección Capital Sifontes	18 813	29 906	10 989	11
Parroquia Dalla Costa	4 706	11 189	6 960	9
Parroquia San Isidro	3 428	8 987	4 575	12
<i>Municipio Padre Pedro Chien</i>	12 194	15 488	1 710	19
Parroquia Padre Pedro Chien	12 194	15 488	1 710	19
Estado Delta Amacuro				
<i>Municipio Antonio Díaz</i>	2 308	26 655	13 930	17
Parroquia Curiapo	1 192	6 232	3 720	14
Parroquia Almirante Luis Brión	969	1 410	3 010	1
Parroquia Francisco Aniceto Lugo	Sin datos	2 449	7 200	-
<i>Municipio Casacoima</i>	20 552	29 555	1 670	54
Parroquia Imataca	7 346	10 955	760	47
Parroquia Juan Bautista Arismendi	232	3 490	540	60
Parroquia Manuel Piar	8 438	12 413	0,4	99.375
Parroquia Rómulo Gallegos	2 407	2 644	370	6

Fuente: Elaboración propia sobre la base del INE, 2001 y 2011.

El poblamiento correspondiente al periodo intercensal 2001 – 2011 para los municipios y parroquias en la Reserva tienen una característica en común: todos son positivos, es decir, que entre esos años no existe ninguna entidad que sufra de despoblamiento, por el contrario, todas son áreas de poblamiento, en especial el municipio Antonio Díaz quien pasó de 2 380 a 26 655 habitantes en el período analizado. Entre las diversas entidades existen diferencias en lo que respecta al coeficiente de poblamiento, pudiéndose observar que se escalonan desde un máximo de 60 personas que se incorporan a la porción de la parroquia Juan Bautista Arismendi (municipio Casacoima) que pertenece a la Reserva entre 2001 y 2011 por cada 100 km². Se presentan toda una serie de valores intermedios, hasta el menor valor (1 hab/100km²) correspondiente a la parroquia Almirante Luis Brión (municipio Antonio Díaz).

3.2. Aspectos Económicos

En el estudio de los aspectos económicos de la Reserva Forestal Imataca se toma en consideración la distribución ocupacional de la población según entidad federal. Para ello se caracterizó la estructura de empleo de la Población Económicamente Activa, analizando el tamaño de la población empleada según sector y rama de actividad económica.

Según el INE, para el año 2015 el estado Bolívar se orientó económicamente al sector de servicios comunales, sociales y personales con una proporción de su Población Económicamente Activa (PEA) del 30%, seguidamente se encontraba en el sector de comercio, restaurantes y hoteles con un 24% de su PEA y en tercer lugar se orientaba hacia el sector industrial y manufacturero con un 14% de su PEA. En el caso del estado Delta Amacuro la economía estuvo orientada al sector de servicios comunales, sociales y personal representado por el 60% de su PEA, sin embargo, en segundo lugar, se tenía el sector agrícola con el 11% de su PEA y en tercer lugar el sector de comercio, restaurantes y hoteles con el 11% de su PEA.

3.3. Aspectos Físico - Espaciales

En el análisis de los aspectos físico espaciales de la Reserva Forestal Imataca se estudió el proceso de ocupación territorial y organización espacial de los centros poblados, considerando el número de habitantes y la influencia de las conexiones viales.

Considerando que diferentes centros poblados se localizan en la Reserva, se puede deducir que el proceso de ocupación del territorio ha tenido una tendencia de crecimiento principalmente desde el centro - sur de la misma, correspondiendo al municipio Sifontes del estado Bolívar. Por otra parte, en el norte de esta área la ocupación territorial ha tenido una dinámica espacial asociada al borde del límite de la Reserva.

Con respecto a la organización espacial de los centros poblados, se puede destacar que la concentración de asentamientos se encuentra relacionada con la dinámica de ocupación mencionada. En el centro – sur de la Reserva existe la mayor concentración de centros poblados y el menor número corresponde el borde del límite norte.

La infraestructura vial de la reserva está conectada por la Troncal 10, específicamente por el tramo El Dorado – Santa Elena de Uairen, ubicada al sur de la reserva específicamente en el municipio Sifontes del estado Bolívar. De esta red principal se originan diferentes vías secundarias calificadas como: pavimentadas, engranzonadas, camino carretero y senderos. Las vías secundarias se distribuyen desde el sur hacia el centro, estableciendo relación directa con la ocupación y organización de los centros poblados.

Ahora bien, según la ocupación territorial y organización espacial de los centros poblados, el sector centro – sur del área bajo estudio, presenta la mayor distribución espacial. No obstante, es importante conocer la importancia de los asentamientos según su población. En este sentido, en la Tabla 2.18 se identifican los centros poblados más importantes ubicados en la Reserva con una breve caracterización de sus aspectos más resaltantes.

Según la información presentada (Tabla 2.18), los centros poblados con mayor población son El Buey (6 295 hab), Casacoima (2 765 hab), Las Claritas (2 524 hab), Piedra Barsina (2 000 hab), Santa Rosa (2 000 hab), Sacupana (1 513 hab), Santa Catalina (1 099 hab) y San Antonio de Roscio (1 086 hab.). Como se observa, los primeros dos asentamientos con mayor población (El Buey y Casacoima) corresponden al municipio Padre Pedro Chien (del estado Bolívar) y Casacoima (del estado Delta Amacuro), ambos ubicados al noroeste de la Reserva. Es de resaltar que en este sector del área en estudio se presenta un bajo ritmo de crecimiento con respecto al sector centro – sur. El tercer centro poblado con mayor número de habitantes, Las Claritas, se encuentra en el municipio Sifontes, el cual protagoniza los efectos sobre los aspectos físico - espaciales de la Reserva. A pesar de ello, seis de los centros poblados que se identifican en este municipio, representan una población inferior de 500 habitantes.

Tabla 2.18. Principales centros poblados de la Reserva Forestal Imataca

Centro Poblado	Parroquia	Municipio	Población (hab)	Características principales
Estado Bolívar				
El Buey	Sección Capital Padre Pedro Chien	Padre Pedro Chien	6 295	Asociada a pequeños agricultores, conuqueros, parceleros. Sectores con influencia de El Palmar (Capital de la Parroquia).
Piedra Barsina			2 000	
Santa Rosa			2 000	
Las Claritas	San Isidro	Sifontes	2 524	Centros poblados que ocupan una parte importante de la Reserva, sin embargo, presentan menor presión demográfica. En esta parroquia se identifican veintitrés centros poblados, dos de ellos con más de 1.000 habitantes y cinco con más de 300 habitantes.
San Antonio de Roscio			1 086	
Arimatepuy km 14			446	
El Granzón			409	
San Martín de Trumbán	Dalla Costa	Sifontes	250	Centros poblados que presentan una población por debajo de los 300 habitantes. Se identifican diecinueve centros poblados, concentrados a lo largo del río Cuyuní. Predomina la actividad minera.
El Vapor			340	
Bochinche	Sección Capital Sifontes	Sifontes	733	Se identifican alrededor de trece centros poblados y la actividad predominante es la forestal.
La Esperanza			415	

Tabla 2.18. Principales centros poblados de la Reserva Forestal Imataca (continuación)

Centro Poblado	Parroquia	Municipio	Población (hab)	Características principales
Estado Delta Amacuro				
San José de Amacuro	Francisco Aniceto		538	Representan los sectores menos poblados y menos accesibles. En esta Parroquia se distribuyen doce centros poblados, predominantemente Waraos. Resalta la explotación forestal no maderera, seguida de la minería.
Boca de Cuyubini	Lugo		413	
La Ceiba	Ciriapo	Antonio Díaz	576	Los poblados se encuentran dispersos en la margen izquierda del río Acure, son predominantemente indígenas. Predomina la explotación forestal maderera y minera.
Joyojana			310	
Manoa	Almirante Luis Brión		449	Son centros poblados de predominancia no indígena, con actividad maderera y agrícola vegetal.
El Toro			191	
Casacoima	Juan Bautista Arismendi		2 765	Centros poblados importantes, bajo la influencia de Ciudad Guayana. En ellos se presenta la presión agrícola y pecuaria más importante de la Reserva.
Piacoa			838	
Guacara			82	
Sacupana	Rómulo Gallegos	Casacoima	1 513	Son poblados mixtos con predominancia de la etnia Warao.
Santa Catalina			1 099	
Los Castillos	Manuel Piar		342	Centro poblado que ocupa pequeña porción, con predominancia en la actividad agrícola vegetal.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de OCEI, 2000 y Berroterán, 2003.

3.4. Bienes y servicios ecosistémicos de los recursos naturales

A continuación, se presenta una síntesis de los bienes y servicios ecosistémicos más resaltantes, de acuerdo con las características físico-naturales correspondientes a la Reserva Forestal Imataca.

En primer lugar, se tienen los recursos geodafológicos de la zona, que permiten la recarga de acuíferos y la formación de suelos, por ende, el mantenimiento de la productividad natural de los mismos. Adicionalmente, proporcionan minerales que han servido de actividad económica para la población. En la Reserva, los suelos proporcionan un servicio importante, se trata del

reciclado de nutrientes, la prevención de la erosión y no menos importante son reservorios de carbono orgánico. En cuanto al recurso hidrológico, en la Reserva se presenta la contribución en la recarga de acuíferos y el manteamiento de los cursos fluviales que valen como hábitat para la fauna y la flora, además, proporcionan el recurso hídrico de la población.

La vegetación en la Reserva se caracteriza por ser boscosa, la cual tiene un aprovechamiento crucial tanto a nivel regional como nacional. Sirve de fuente de productos maderables y no maderables para la población. Así mismo, la vegetación es fuente de alimentos para la fauna silvestre, al mismo tiempo que juega un papel fundamental en la captación y regulación del recurso hídrico, protección de suelos, generación de suelos, reciclado de nutrientes, regulación atmosférica a través de la fijación de CO₂, entre otros.

La fauna, además de su múltiple importancia cultural, ecológica y de mantenimiento de los ecosistemas, representa una de las principales fuentes de calorías en la dieta especialmente indígena. La biodiversidad de la Reserva provee importantes recursos genéticos, contribuyen con la investigación científica, promueven el turismo cultural y ecológico, entre otros servicios.

La cobertura y uso de la tierra está determinada por las actividades humanas presentes en la Reserva. La cobertura de bosques determina la actividad forestal, la cual proporciona el aprovechamiento maderable y no maderable, además, protege el suelo, permite la generación de nutrientes, mantiene la biodiversidad, suministra alimentos, e incluye otros beneficios. El uso agrícola es fuente de alimentos para la población, la cobertura de sabanas es fuente de alimento para el ganado, así mismo, contribuyen en la protección y formación de suelos, son sumideros de carbono, entre otros.

3.5. Infraestructura de servicios públicos

En este apartado se presentan de manera resumida las principales características de la infraestructura de servicios públicos presentes en la Reserva. Para fines del análisis se presentará una breve caracterización de los municipios más relevantes en el área en estudio, de acuerdo con el Informe Geoambiental del estado Bolívar y Delta Amacuro (INE, 2007).

3.5.1. Recolección y disposición final de residuos y desechos

En el municipio Sifontes del estado Bolívar, la recolección y disposición final de desechos sólidos es un servicio prestado al 100% en la población urbana y rural. Se recolecta aproximadamente 33 000 kg/día de residuos sólidos, la recolección se realiza 7 días por semana, con un total de 40 rutas de recolección. El municipio cuenta con una ordenanza y una mancomunidad para el tratamiento y recolección de los residuos. La disposición final de los residuos y desechos sólidos se realiza en botaderos, vertedero medianamente controlado y fosas. La tasa de generación de residuos y desechos sólidos se sitúa en 0,840 kg/hab al día.

En el caso del municipio Padre Pedro Chien también del estado Bolívar, la recolección y disposición final de desechos es un servicio variable según hábitat de la población. La población urbana es atendida de manera directa un 95% e indirecta un 5%, mientras que la población rural

es atendida de forma directa en un 60% e indirecta en un 40%. Con respecto al total de residuos y desechos sólidos recolectados no se conocen datos. En cuanto a los días de recolección, la misma se realiza 5 días por semana, con un total de 6 rutas de recolección. Para la disposición final de los residuos y desechos sólidos es utilizado un botadero.

En el municipio Antonio Díaz del estado Delta Amacuro se recolectan 600 kg/día de residuos y desechos sólidos. La frecuencia de recolección de estos es de 6 días a la semana en un total de 17 rutas. La población urbana atendida directamente por el servicio de recolección de residuos y desechos sólidos, corresponde al 100%, mientras que de la población rural no se reportan datos. En cuanto a la tasa de generación de residuos y desechos sólidos se sitúa en 44,4 kg/hab al día.

Ya en el municipio Casacoima del estado Delta Amacuro, el servicio de recolección y disposición final de desechos recolectan 40 000 kg/día de residuos, con una frecuencia de recolección de 7 días por semana, con un total de 3 rutas. La población urbana atendida directamente por el servicio corresponde al 100%, en cuanto a la población rural atendida directamente corresponde al 50% y la indirecta al 50%. Para la disposición final de éstos, es utilizado un terreno. Con respecto a la tasa de generación de residuos y desechos sólidos per cápita se sitúa en 0,74 kg/hab al día.

3.5.2. Sistema de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales

En cuanto al abastecimiento de agua potable, en el municipio Sifontes del estado Bolívar la fuente primaria es el embalse San Pedro, que mantiene represadas las quebradas Curumo, Miriquimo y Uarán. El agua recibe tratamiento de potabilización antes de ser distribuida por el acueducto. La descarga final de aguas servidas por parte de las viviendas conectadas a la red de cloacas (8,2%) se realiza en los terrenos destinados a una laguna de oxidación, vale mencionar que la mayoría de las viviendas poseen pozos sépticos y/o letrinas.

En el municipio Padre Pedro Chien del estado Bolívar, la fuente primaria de abastecimiento es la Represa Puchima, en donde el agua recibe tratamiento de potabilización. La descarga final de aguas servidas por parte de las viviendas (7,6%) se realiza en una laguna de oxidación, mientras que la gran mayoría utiliza letrina y/o pozo séptico.

Para el caso de los municipios Antonio Díaz y Casacoima del estado Delta Amacuro, la fuente primaria de abastecimiento para agua potable, es la toma libre del río Grande y caños alternos, el agua no recibe tratamiento para potabilización y para la descarga final de aguas servidas no existe sistema colector.

4. Bibliografía

Berroterán, J.L., 2004. *Reserva forestal Imataca. Ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial*. Caracas (Venezuela). Editorial Fundambiente.

CIERFI-MARN, 2001. *Recopilación y Análisis de la Información Básica existente para la Reserva Forestal Imataca*. Caracas (Venezuela). Comisión Interna Especial de la Reserva Forestal Imataca. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). 1979. *Inventario Nacional de Tierras Región Oriental Delta del Orinoco-Golfo de Paria*. Maracay (Venezuela). Serie de Informes Científicos-Zona 2/IC/21.

MARNR, 1985. *Zonificación de la Reserva Forestal Imataca con fines de Manejo*. Venezuela.

Servidores y páginas WEB consultadas:

<https://www.bing.com/maps/aerial>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://maps.google.com>

<https://www.openstreetmap.org>

<https://scihub.copernicus.eu/>

<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>.

SAS.Planet.Release.160707.

Anexo 2.1

Cambios en la cobertura y uso de la tierra

La información de cobertura y uso de la tierra para los años 2000 y 2018 fue generada en el componente: Valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono. La información espacial recopilada y la metodología aplicada en la generación de los mapas fueron explicadas detalladamente en ese componente.

Partiendo de estos resultados y para los efectos de este anexo, se han realizado ajustes a mayor escala de trabajo de las superficies ocupadas por los usos minero, agrícola y pecuario en el año de referencia 2018.

Estos ajustes fueron posibles interpretando imágenes de satélite de mayor resolución, las cuales están disponibles en algunas plataformas de internet que han abordado el tema de la intervención antrópica en la Amazonía. Por ejemplo, la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) dispone de información sobre actividad minera en <https://www.amazoniasocioambiental.org/es/>, y el portal <https://ejatlas.org> (*Environmental Justice Atlas*), ofrece de manera interactiva imágenes de muy alta resolución cuya fuente es diversa: *Esri, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Geoeye, Getmapping, Aerogrid, and GIS User Community*. La Figura 1 (a) muestra los puntos de minería validados por comunidades presentados por la RAISG. Las Figuras 1 (b), (c) y (d) muestran ejemplos de las ventanas de observación realizadas para el uso minero y la Figura 1 (e) es un ejemplo de una ventana de observación del uso agrícola al noroeste de la RFI.



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figura 1. Puntos de minería, ventanas de observación de la actividad minera y agrícola en la RFI

1. Cobertura y uso de la tierra. Año 2000

Para el año 2000, la cobertura boscosa representaba el 97,33% de la RFI. El bosque húmedo tropical ocupaba la mayor extensión (64,98%), seguido por: bosque de pantano (16,20%), bosque siempreverde (12,26%), bosque degradado (3,31%), bosque de inundación mareal (0,31%) y bosque deciduo (0,27%).

La RFI tenía un bajo grado de intervención (2,02%) distribuidos así: herbazales (1,18%), minería (0,27%), cultivos (0,24%), pecuario (0,11%) y plantación forestal (0,05%). Para los servicios se tenía: vialidad (0,13%), cortafuego (0,02 %) y asentamientos (0,01%).

Los cuerpos de agua y las turberas ocupaban una superficie de 0,47% y 0,18%, respectivamente.

La Figura 2 muestra la distribución espacial de la cobertura y uso de la tierra del año 2000 y la Tabla 1, presenta las superficies y los porcentajes asociados de la misma.

Tabla 1. Cobertura y uso de la tierra de la RFI. Año 2000

Cobertura / Uso	Código	Área	
		Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque deciduo	Bde	104,11	0,27
Bosque degradado	Bd	1 262,38	3,31
Bosque de inundación mareal	Bim	116,66	0,31
Bosque húmedo tropical	Bht	24 793,17	64,98
Bosque de pantano	Bp	6 180,18	16,2
Bosque siempreverde	Bsv	4 678,05	12,26
Cultivos	C	91,19	0,24
Herbazal	H	452,07	1,18
Minería	M	104,36	0,27
Pecuario	P	41,71	0,11
Plantación forestal	Pf	20,71	0,05
Asentamientos	Ah	3,73	0,01
Corta fuego	Cf	6,86	0,02
Vialidad	V	49,98	0,13
Ríos	R	178,95	0,47
Turberas	T	68,16	0,18
Otras coberturas	Oc	1,82	0,005
	Total	38 154,06	100

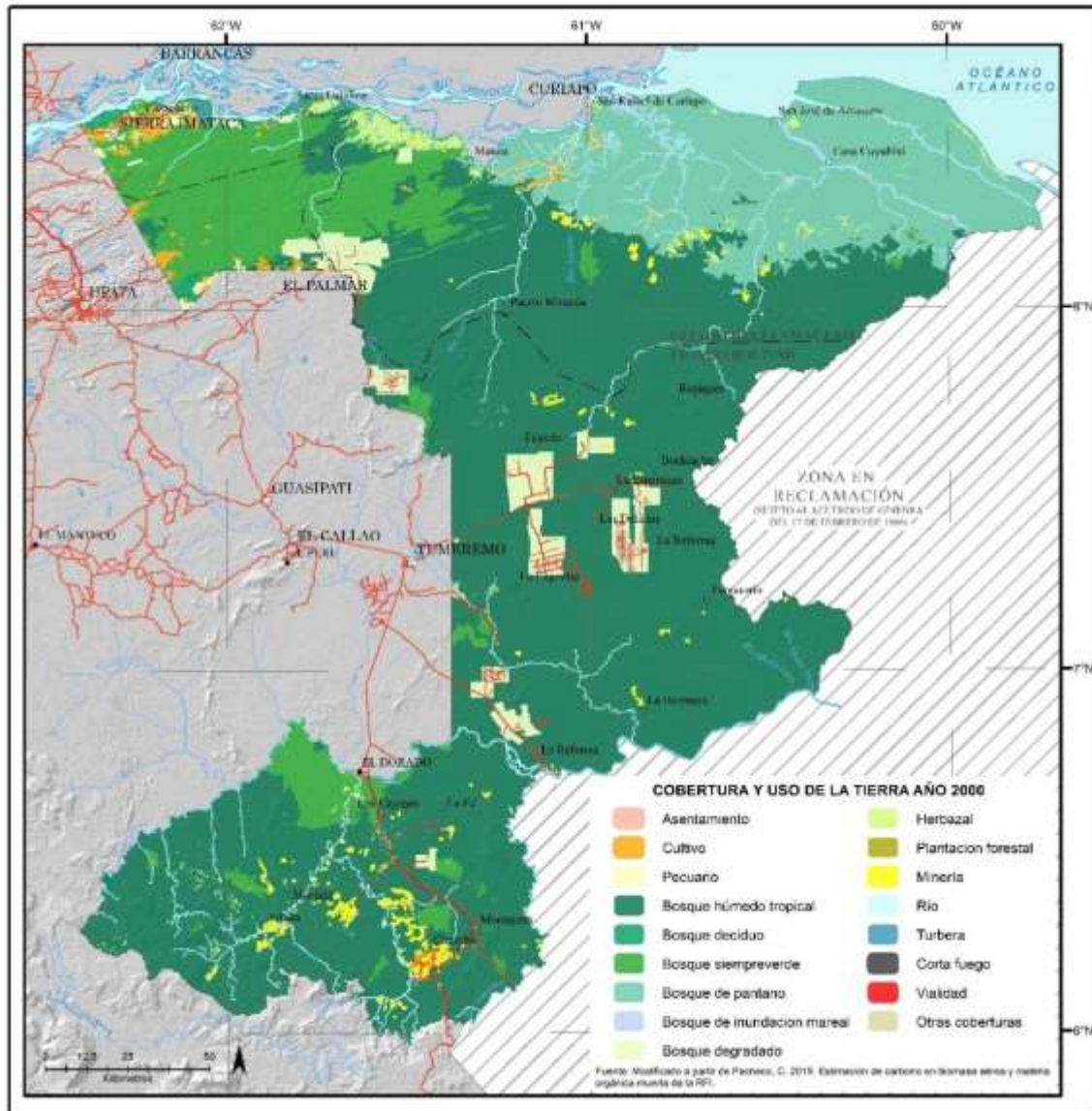


Figura 2. Cobertura y uso de la tierra. Año 2000

Fuente: Modificado a partir de Pacheco, C. 2019. *Estimación de carbono en biomasa aérea y materia orgánica muerta de la RFI.*

2. Cobertura y uso de la tierra. Año 2018

Para el año 2018, la cobertura boscosa ocupa un 95,99% de la superficie de la RFI. El bosque húmedo tropical ocupa la mayor extensión (61,92%), seguido por: bosque de pantano (16,27%), bosque siempreverde (11,73%), bosque degradado (5,60%), bosque deciduo (0,25%) y bosque de inundación mareasl (0,22%).

La RFI tiene un grado de intervención del 4,01% distribuidos así: herbazales (1,11%), minería (1,17%), cultivos (0,73%), pecuario (0,16%) y plantación forestal (0,05%). Para los servicios se tiene: vialidad (0,08%), cortafuego (0,02 %) y asentamientos (0,01%).

Los cuerpos de agua y las turberas ocupan una superficie de 0,46% y 0,21%, respectivamente.

La Figura 3 muestra la distribución espacial de la cobertura y uso de la tierra del año 2018 y la Tabla 2, presenta las superficies y % de la misma.

Tabla 2. Cobertura y uso de la tierra de la RFI. Año 2018

Cobertura / Uso	Código	Área	
Bosque decido	Bde	94,29	0,25
Bosque degradado	Bd	2 137,96	5,6
Bosque de inundación mareal	Bim	84,45	0,22
Bosque húmedo tropical	Bht	23 626,1	61,92
Bosque de pantano	Bp	6 207,31	16,27
Bosque siempreverde	Bsv	4 474,04	11,73
Cultivos	C	278,87	0,73
Herbazal	H	425,29	1,11
Minería	M	444,92	1,17
Pecuario	P	61,04	0,16
Plantación forestal	Pf	20,34	0,05
Asentamientos	Ah	4,7	0,01
Corta fuego	Cf	6,72	0,02
Vialidad	V	31,31	0,08
Ríos	R	175,42	0,46
Turberas	T	79,49	0,21
Otras coberturas	Oc	1,82	0
	Total	38 154,06	100

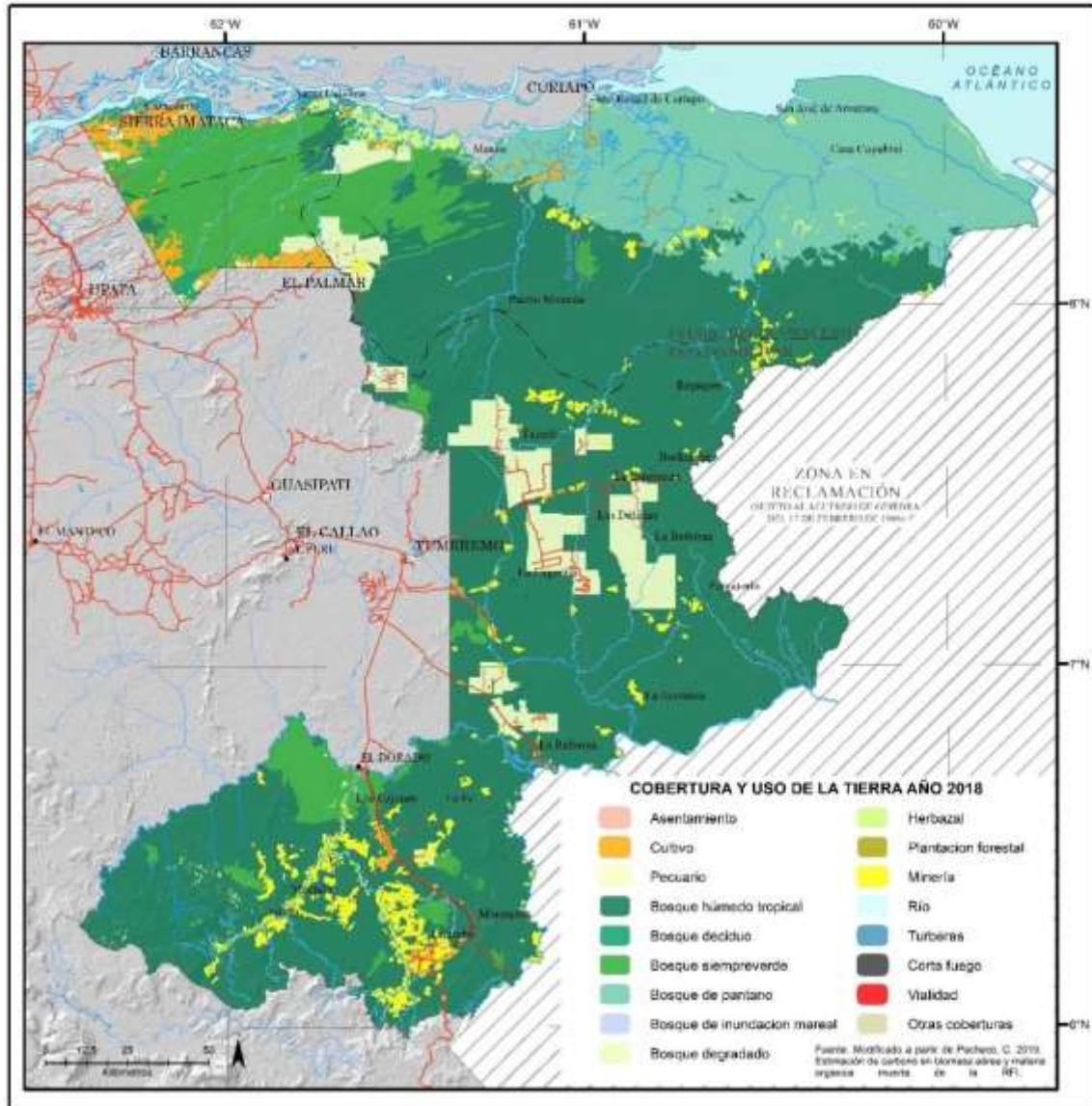


Figura 3. Cobertura y uso de la tierra. Año 2018

Fuente: Modificado a partir de Pacheco, C. 2019. *Estimación de carbono en biomasa aérea y materia orgánica muerta de la RFI.*

3. Cambio en la cobertura y uso de la tierra. Años 2000-2018

Los cambios de cobertura y uso se presentan en la Tabla 3. Los valores más significativos se refieren al aumento de las superficies ocupadas por los usos minero (326%), cultivos (206%), bosque degradado (114%) y uso pecuario (46%).

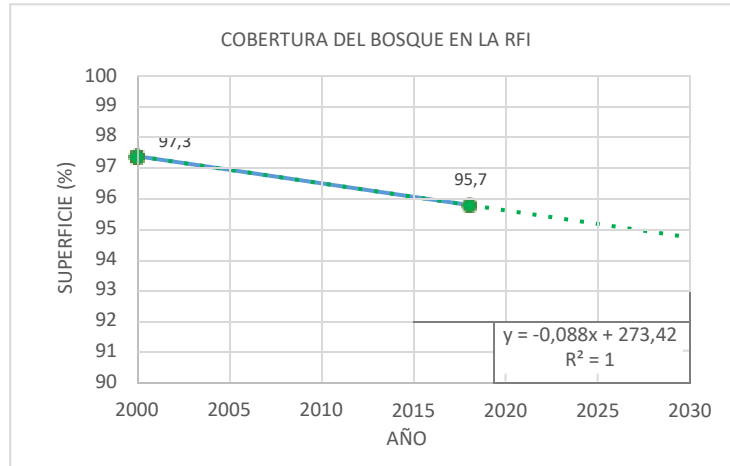
De los bosques descritos, el bosque de inundación mareal presenta una disminución del 28%, seguido por el bosque deciduo (9%) y el bosque húmedo tropical 5%, éste último valor representa una tasa interanual de disminución de 0,26% para el período 2000-2018.

La Figura 4 muestra los gráficos con líneas tendenciales hasta el año 2030 de la disminución de la superficie bosque nativo (a), el aumento de la superficie del bosque degradado (b) y el aumento de los usos minero (c) y agrícola (d) como ejemplos de cambios en la RFI.

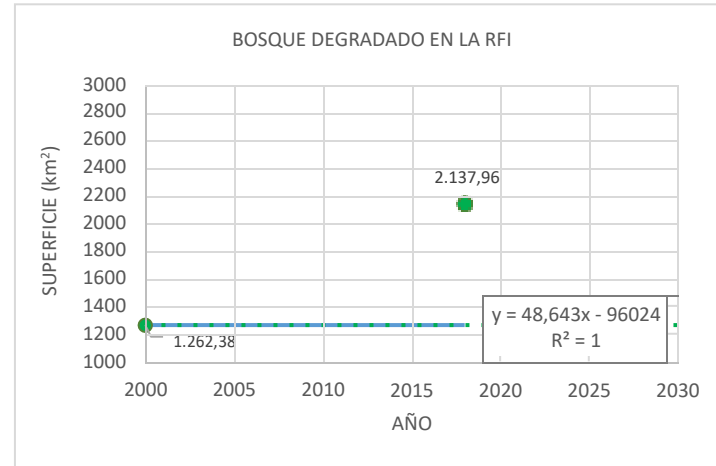
Tabla 3. Cambio de cobertura y uso en la RFI. Años 2000 y 2018

Cobertura / Uso	Código	Año 2000		Año 2018		Variación (%)
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	
Bosque deciduo	Bde	104,11	0,27	94,29	0,25	-9
Bosque degradado	Bd	1 262,38	3,31	2 137,96	5,6	114
Bosque de inundación mareal	Bim	116,66	0,31	84,45	0,22	-28
Bosque húmedo tropical	Bht	24 793,17	64,98	23 626,1	61,92	-5
Bosque de pantano	Bp	6 180,18	16,2	6 207,31	16,27	0
Bosque siempreverde	Bsv	4 678,05	12,26	4 474,04	11,73	-4
Cultivos	C	91,19	0,24	278,87	0,73	206
Herbazal	H	452,07	1,18	425,29	1,11	-6
Minería	M	104,36	0,27	444,92	1,17	326
Pecuario	P	41,71	0,11	61,04	0,16	46
Plantación forestal	Pf	20,71	0,05	20,34	0,05	-2
Asentamientos	Ah	3,73	0,01	4,7	0,01	26
Corta fuego	Cf	6,86	0,02	6,72	0,02	-2
Vialidad	V	49,98	0,13	31,31	0,08	-37
Ríos	R	178,95	0,47	175,42	0,46	-2
Turberas	T	68,16	0,18	79,49	0,21	17
Otras coberturas	Oc	1,82	0	1,82	0	0
	Total	38 154,06	100	38 154,06	100	

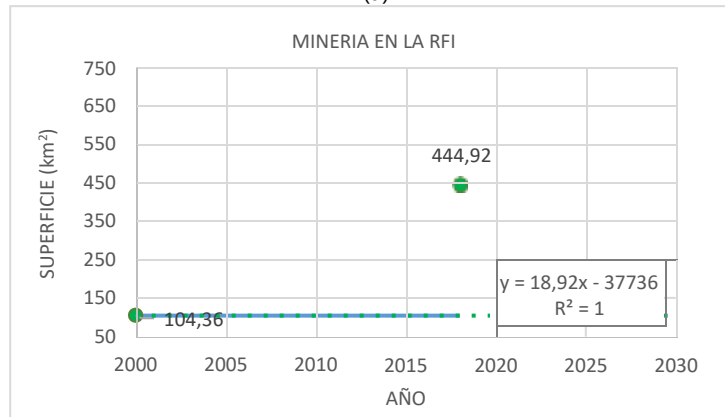
La distribución espacial de las zonas donde han ocurrido los principales cambios de cobertura y/o uso se muestran en la Figura 5 y ocupan aproximadamente 1 456 km². De la superficie total que ha sufrido cambios, los más relevantes (Figura 6) se refieren a: bosque húmedo tropical a bosque degradado (801,86 km²), bosque húmedo tropical a minería (320,80 km²), Bosque siempreverde a cultivos (94,97 km²), Bosque siempreverde a bosque degradado (73,30 km²) y Bosque húmedo tropical a cultivos (50,98 km²).



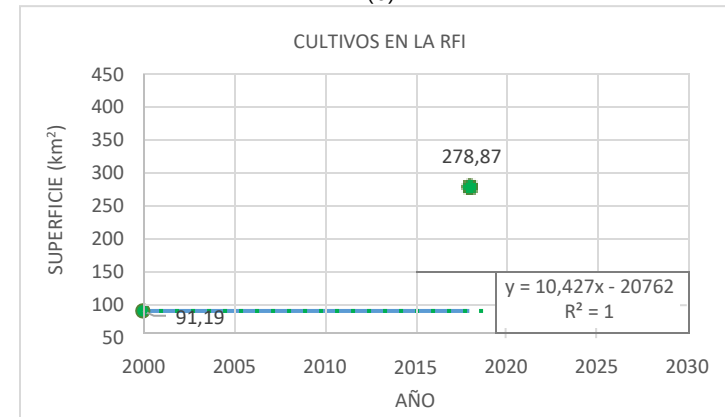
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. Líneas tendencias hasta el año 2030 de la disminución del bosque (a) y del aumento de los usos forestal (b), minero (c) y agrícola (d) como ejemplos de cambios en la RFI

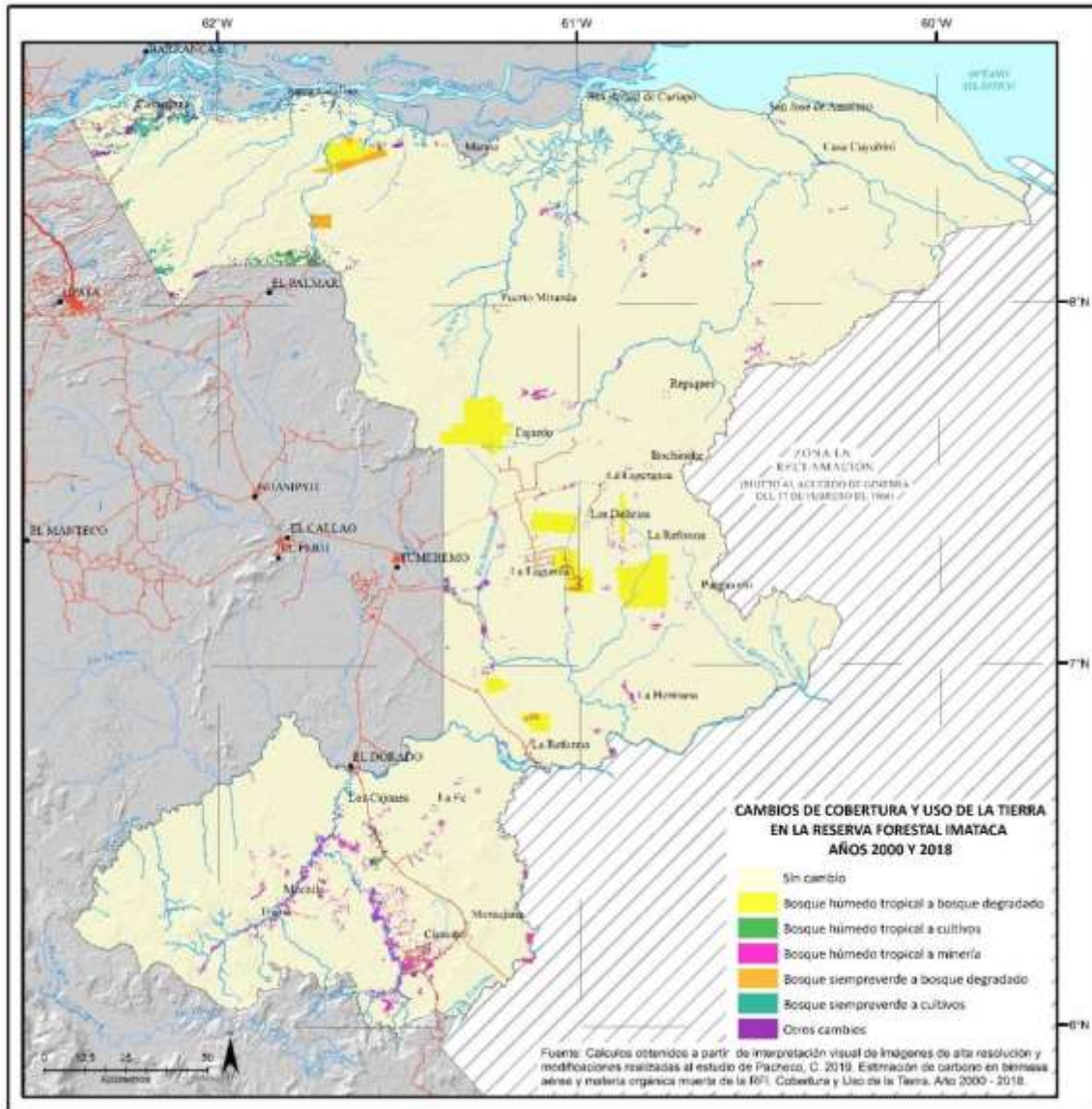


Figura 5. Distribución espacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra



Figura 6. Cambios de cobertura y uso de la tierra (km²) en la RFI Años 2000 – 2018.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Bibliografía

Servidores y páginas WEB consultadas:

<https://www.bing.com/maps/aerial>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://maps.google.com>

<https://www.openstreetmap.org>

<https://scihub.copernicus.eu/>

<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>.

SAS.Planet.Release.160707.

<https://www.amazoniasocioambiental.org/es/>

<https://ejatlas.org/conflict/reserva-forestal-imataca-region-guayana-de-venezuela>

[www.youtube.com/watch?v=vcDyTQ2AKm4&feature=channel video title](http://www.youtube.com/watch?v=vcDyTQ2AKm4&feature=channel_video_title)).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Anexo 2.2

Conflictos de uso de la tierra

1. Unidades de ordenamiento de la RFI

Hasta el año 2004, el ordenamiento territorial de la RFI se basaba en el Decreto del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso (PORU) de la Reserva Forestal Imataca publicado el 28 mayo de 1997 en Gaceta Oficial, bajo el N° 1 850.

Este plan expresado en un mapa elaborado a escala 1:250 000 estaba conformado por cinco (5) Unidades de Ordenamiento: Zona de Manejo Forestal (ZMF), Zona de Manejo de la Planicie de Desborde (ZMPD), Zona de Investigación Especial (ZIE), Zona de Protección (ZP) y Zona de Manejo Mixto (ZMM).

Según Berroterán (2004), para la elaboración de este plan de ordenamiento no se dispuso del uso actual de la tierra, no se integró la información ecológica-socioeconómica ni se consideró la presencia indígena, también se dejó la posibilidad de explotación minera en un 39% de la RFI. Debido a las limitaciones anteriores, en noviembre de 1998, la Corte en la Sala Plena decidió acordar un decreto cautelar por el cual ordenaba al Ministerio de Energía y Minas (MEM) abstenerse de otorgar nuevas concesiones mineras.

Actualmente, los usos y actividades dentro de los linderos de la RFI, están sujetos a lo establecido en el Decreto N° 3 110 del 07/09/2004, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22/09/2004, referido al *Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal Imataca*. Este Plan regula los usos permitidos, restringidos y prohibidos en la reserva forestal y faculta al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia ambiental, para su control y administración. Las unidades de ordenamiento contempladas en el Decreto 3 110 pueden apreciarse en la Figura 1, la Tabla 1 describe brevemente cada una de estas unidades.

Para la elaboración del Plan de Ordenamiento vigente se tomaron en cuenta los principios ambientales y los derechos indígenas establecidos en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela aprobada en el año 1999, además se contó con el estudio técnico *Reserva Forestal Imataca. Ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial* realizado por el MARNR y el Instituto de Zoología Tropical de la Universidad Central de Venezuela.

Las unidades de ordenamiento se establecieron bajo los siguientes criterios: potencialidad de usos permitidos, uso actual de la tierra, etnias indígenas, asentamientos rurales, estado y prioridades de conservación de ecosistemas, conflictos, factibilidad económica y amenazas. Se identificaron once unidades de ordenamiento de acuerdo con el Decreto 2 214, que regula la administración de actividades en reservas forestales: manejo forestal, manejo forestal con limitaciones, protección integral, reservorio de genes, servicios, recuperación, manejo especial forestal-minero, manejo especial forestal-minero con comunidades indígenas, manejo especial



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



forestal con comunidades indígenas, manejo especial agroforestal y manejo especial agroforestal con comunidades indígenas.

Al comparar el Decreto 3 110 con las unidades de manejo previstas en el Decreto 1 850 se aprecia el incremento de superficie de las unidades asociadas a uso forestal de 34,5% a 61,4%; usos de protección de 3.5% a 23.8%. También se refleja la disminución considerable del uso forestal-minero de 39% a 11,8%. Por otra parte, se consideran criterios no contemplados en el Decreto 1 850 tales como los territorios indígenas y los usos tradicionales y agroforestales. (Berroterán, J., 2004).

A continuación, se presenta un resumen descriptivo de cada una de las zonas de ordenamiento según la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22/09/2004 y una Figura alusiva a su ubicación espacial:

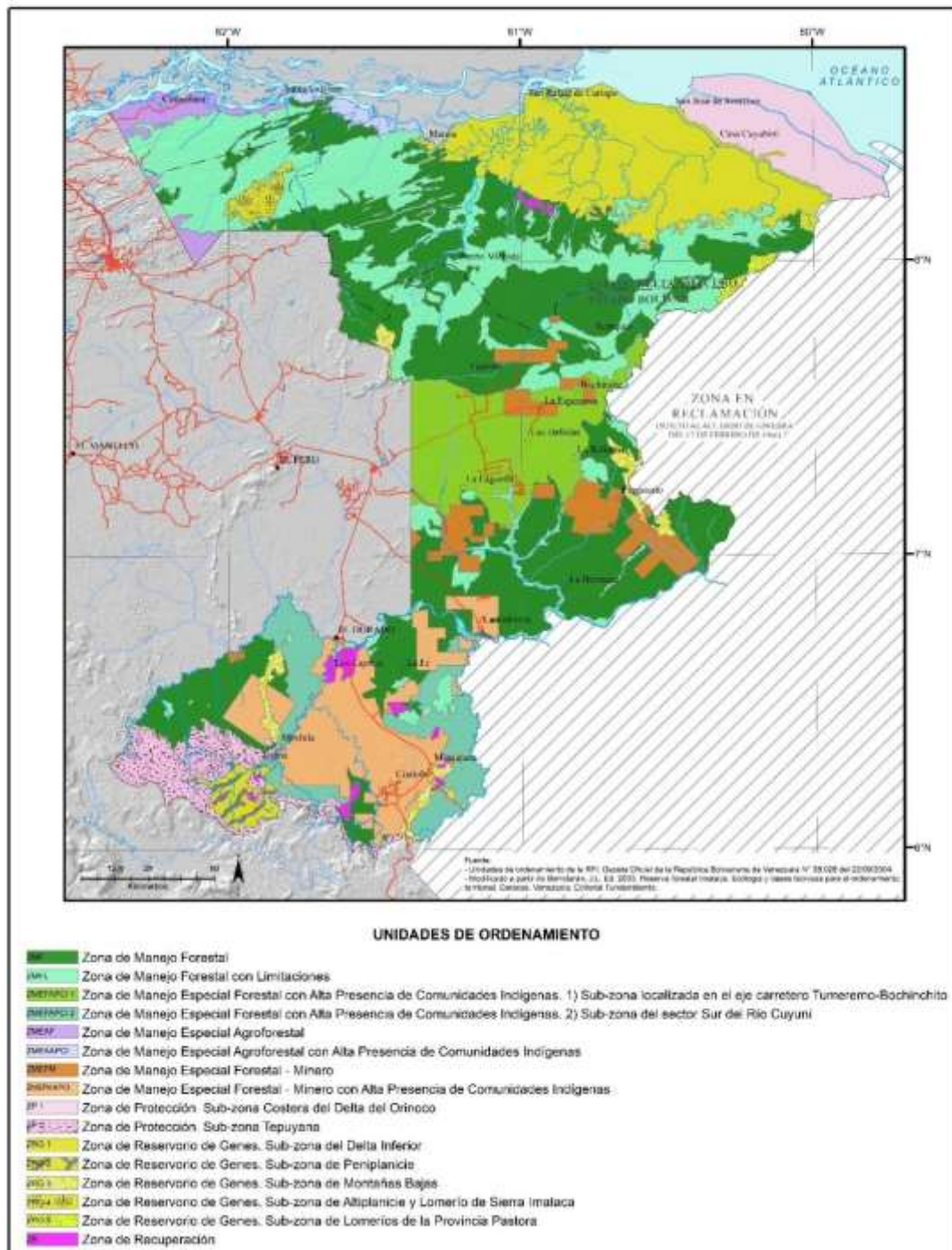







Figura 1. Unidades de ordenamiento de la RFI.

Fuente: Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22/09/2004 y modificado a partir de Berroterán, J.L. 2003. *Reserva Forestal Imataca. Ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial.* Caracas, Venezuela. Editorial Fundambiente.

Tabla 1. Breve descripción de las unidades de ordenamiento de la RFI

Zona de Manejo Forestal (ZMF)	
<p>Conformada por áreas con cubierta boscosa, con alta potencialidad para la producción forestal permanente y poca limitación para la aplicación de las prácticas de manejo. Domina el bosque húmedo alto y los bosques siempreverdes estacionales altos y medios. El aprovechamiento de la masa boscosa, se hará mediante Planes de Ordenación y Manejo Forestal, bajo el principio de manejo sustentable y uso múltiple del bosque. Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo y el manejo forestal maderable, tradicional – tradicional indígena, ecoturístico, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.</p>	
Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL)	
<p>La vegetación dominante está constituida por el bosque húmedo alto y medio, los bosques siempreverdes estacionales alto y medio, los bosques siempreverdes estacionales alto y medio y el bosque siempreverde alto y medio. Sin embargo, estas áreas, por sus características físico naturales tienen limitantes para el aprovechamiento forestal. Los usos y actividades permitidas son: Forestal- manejo forestal del bosque nativo con restricción y el manejo forestal no maderable, tradicional – tradicional indígena, ecoturístico, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.</p>	
Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI)	
<p>Son áreas que tienen alta potencialidad para la producción forestal permanente con cubierta boscosa. En estas áreas están presentes los pueblos y comunidades indígenas que han morado ancestralmente según sus modelos tradicionales de subsistencia, ocupación del espacio y en convivencia con el ecosistema. Se divide en dos sub-zonas:</p> <p>Sub-zona eje carretero Tumeremo – Bochinchito (ZMEFAPCI 1) y Sub-zona del sector Sur del río Cuyuní (ZMEFAPCI 2). Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo y manejo forestal no maderable, tradicional – tradicional indígena y criollo, ecoturístico, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.</p>	

Sub-zona eje carretero Tumeremo – Bochinchito (ZMEFAPCI 1):	
<p>Domina el bosque húmedo tropical alto en las zonas más planas, mientras que los topes de colinas se encuentran asociados al bosque siempreverde estacional medio y bajo.</p>	
Sub-zona del sector Sur del río Cuyuní (ZMEFAPCI 2):	
<p>Son áreas donde habitan los pueblos indígenas Pemón y Akawaio. Conformada por peniplanicies y lomeríos con pendientes de hasta 60%. La vegetación dominante es el bosque húmedo tropical.</p>	
Zona de Manejo Especial Agroforestal (ZMEAF)	
<p>Ubicada al noroeste de la RFI. Domina el bosque decíduo y la sabana bien drenada en el estrato herbáceo. El uso actual que predomina es el uso agrícola de conuco activo y conuco abandonado realizado por una población criolla. Este uso debe evolucionar al forestal o agroforestal asociado a prácticas agroecológicas para la conservación del ambiente. Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo, manejo forestal no maderable, agroforestería y plantaciones forestales y otras técnicas de recuperación de áreas, tradicional, tradicional indígena y criollo, ecoturístico, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa. Se permite el uso minero limitado a la explotación de turba en el sector comprendido entre los centros poblados de Salamina y Piacoa.</p>	

Zona de Manejo Especial Agroforestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEAAPCI)

Ubicada en el sector centro norte de la RFI. La vegetación dominante en los diques y napas es de bosque bajo a medio y herbazal de pantano, mientras que en las cubetas, la vegetación dominante es la asociación de sabana inundable y herbazal de pantano. En esta zona existe el uso tradicional en una alta proporción de la superficie realizado por indígenas y criollos. Presenta potencial para cultivos especiales y pasto, que permiten una actividad agro-silvopastoril. Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo, manejo forestal no maderable, agroforestería y plantaciones forestales y otras técnicas de recuperación de áreas, tradicional, tradicional indígena y criollo, ecoturístico, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.



Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEFM)



Está distribuida por parches, en la sección Centro y Noroeste de la RFI, al Norte del río Cuyuní. La vegetación está conformada por bosque húmedo tropical y bosque siempreverde estacional. La zona tiene potencial forestal, pero con compromisos mineros adquiridos o con uso minero ilegal actual, con alta intervención del ecosistema. Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo y manejo forestal no maderable, Tradicional – tradicional indígena y criollo, ecoturístico, minero, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.


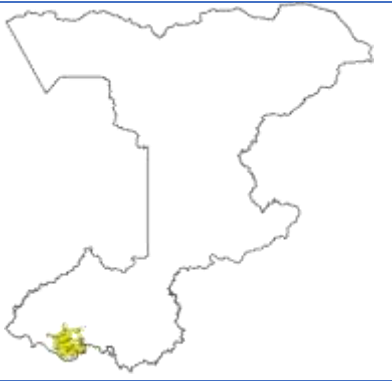
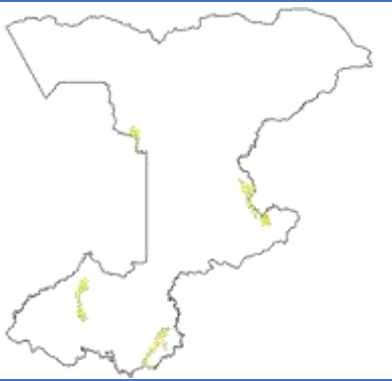





Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI)

Ubicada al Sur de la Reserva Forestal Imataca y del río Cuyuní. La vegetación es boscosa, desde bosque siempreverde bajo hasta bosque siempreverde húmedo tropical. Es una zona con potencial forestal y minero, incluye áreas con alto uso o conflictos por uso minero, con fragmentación del bosque húmedo tropical alto, y están presentes las comunidades indígenas que han morado ancestralmente, con sus modelos tradicionales de subsistencia y ocupación del espacio. Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – manejo forestal del bosque nativo y manejo forestal no maderable, tradicional, tradicional indígena y criollo, ecoturístico, minero, residencial rural, servicios, científico y seguridad y defensa.



Zona Protección (ZP)	
<p>Conformada por la Isla Corocoro en el sector Nor-Este de la Reserva Forestal Imataca, en el delta inferior en contacto con el Océano Atlántico, y por el área de influencia tepuyana en el sector Sur-Oeste de la RFI. La zona está conformada por ecosistemas frágiles, que ameritan preservarse, por lo tanto, debe haber control estricto sobre la intervención humana y el uso público. La presencia de pueblos y comunidades indígenas con sus prácticas tradicionales se consideran compatibles con la dinámica de los sistemas ecológicos. Se divide en dos sub-zonas: Sub-zona costera del Delta del Orinoco (ZP 1) y Sub-zona Tepuyana (ZP 2).</p>	
Sub-zona costera del Delta del Orinoco (ZP 1):	
<p>Ddomina el bosque siempreverde de pantano permanente y de manglar. El uso potencial es muy limitado, con alta fragilidad, por lo que no debe ser intervenida, a excepción de las prácticas tradicionales de los indígenas que generan un uso de la tierra menor al 1% de la superficie de ese macroecosistema. El pueblo indígena Warao es el más numeroso en esta subzona.</p>	
Sub-zona Tepuyana (ZP 2):	
<p>Está representada por el altiplano tepuyano. La vegetación dominante es de bosque siempreverde bajo no estacional, con bajo potencial forestal e inclusiones de herbazales montanos. Esta sub-zona tiene bajo potencial para las actividades mineras y agrícolas y, el pueblo indígena Pemón habita en el área.</p> <p>Los usos y actividades permitidas están referidas a: Tradicional – tradicional indígena, científico y seguridad y defensa.</p>	
Zona de Reservorio de Genes (ZRG)	
<p>Conformada por ecosistemas y formas de vida naturales en condiciones prístinas relevantes, que deben conservarse para garantizar su evolución natural y la primitividad de la naturaleza. Son áreas menos frágiles y singulares que las zonas de protección (ZP). Se divide en 5 sub-zonas:</p>	

<p>Sub-zona costera del Delta Inferior (ZRG 1): Conformada por una llanura cenagosa con anegamiento permanente. También existen pequeñas cubetas de mareas que pueden ser cuerpos de agua o turberas. La vegetación predominante es el bosque siempreverde de pantano asociado a y tiene un uso forestal no maderable por el aprovechamiento de la especie Palma Manaca (<i>Euterpe Oferacea</i>) El pueblo indígena Warao habita esta sub-zona.</p>	
<p>Sub-zona de Peniplanicie (ZRG 2): La vegetación predominante es el bosque húmedo tropical. Son sistemas muy sensibles por la proximidad a los tepuyes, por sus características de suelos frágiles y por ser la cuenca alta del río Cuyuní.</p>	
<p>Sub-zona de montañas bajas (ZRG 3): La vegetación predominante es el bosque húmedo tropical. El impacto negativo de la actividad minera en el área, dio origen a la creación de las Zonas de Recuperación (ZR) asociadas a esta sub-zona.</p>	
<p>Sub-zona de altiplanicie y lomerío de Sierra Imataca (ZRG 4): Domina el bosque siempreverde estacional alto, asociado al bosque semisempreverde alto y medio. El uso actual de la tierra es muy bajo en superficie, y presenta altas restricciones para el uso forestal.</p>	

<p>Sub-zona de lomeríos de la Provincia Pastora (ZRG 5): Domina el bosque húmedo tropical alto asociado al siempreverde estacional alto. El uso actual de la tierra es muy bajo en superficie. Presenta limitado potencial forestal.</p>	
<p>Zona de Recuperación (ZR)</p>	
<p>Conformada por áreas con sistemas ecológicos degradados, con afectación marcada de algunos de los siguientes elementos: cobertura vegetal, suelos, agua o fauna, lo cual justifica un plan de recuperación especial con prácticas de restauración. Esta zona está representada por (i) las áreas deterioradas debido a las actividades de la minería actual, ubicadas en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG) y (ii) por las grandes áreas de explotación minera abandonadas, en las cuales hay una fragmentación local, un gran impacto sobre la vegetación, la fauna, los suelos y el material geológico.</p> <p>Los usos y actividades permitidas están referidas a: Forestal – plantaciones forestales y otras técnicas de recuperación de áreas, Tradicional – tradicional indígena, ecoturístico, servicios, científico y seguridad y defensa.</p>	

Fuente: Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22/09/2004

2. Conflictos de uso de la tierra

Los conflictos de uso en la RFI han sido reconocidos como de interés público a escala local, nacional e internacional. La RFI es un espacio territorial con más de 3 millones de hectáreas de bosques poco o no intervenidos, concentra una de las biodiversidades más ricas y variadas de Latinoamérica, posee importantes reservas de recursos minerales (principalmente oro y diamantes) y alberga un tesoro etnocultural de más de 11 mil habitantes de las etnias indígenas Pemón, Kariña, Warao, Sanema, Eñepa, Arawak y Akawaio (Berroterán, J., 2004).

Entre diversas razones, los conflictos se sustentan en un proceso de planificación y ordenamiento territorial que convirtió a la Sierra de Imataca en reserva forestal con el propósito de desarrollar un proyecto de producción forestal sostenible y cuya administración se gestiona como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). Sin embargo, en el año 1997 se legalizó y promovió el crecimiento de concesiones mineras adjudicadas de manera no cónsonas con la



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Figura de ABRAE, permitiendo la extracción de oro y diamantes en aproximadamente el 40% de la RFI (Decreto N° 1 850 del año 1997, Gaceta Oficial N° 36 215). Esta reglamentación fue promulgada violando los acuerdos internacionales firmados por Venezuela, tales como el Convenio de Diversidad Biológica y la Convención de Washington para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas de los Países de las Américas, y sin la realización de una adecuada consulta pública como establece la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio.

En el año 2004 el Ejecutivo Nacional firma el Decreto 3 110 referido al *Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal Imataca*, y tal como se mencionó anteriormente, en este último decreto se refleja la disminución del uso forestal-minero de 39% a 11,8% si se compara con el Decreto 1 810. En la actualidad, se agrega otro factor de alta conflictividad por la creación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco (Decreto N° 2 248 del año 2016, Gaceta Oficial N° 40 855). En esta zona, el Área 4 denominada extensión del Arco Minero (Imataca) ocupa cerca del 58% de la superficie de la RFI lo que implica la legalización de actividades de exploración y explotación de Oro, Bauxita, Cobre, Caolín y Dolomita dentro de los límites de la reserva.

Los artículos 43 y 44 del Decreto 3 110 se refieren a los usos permitidos y no permitidos en la RFI. Los usos permitidos son: Forestal, tradicional, ecoturístico, residencial rural, minero, servicios, científico y seguridad y defensa. Los usos no permitidos se listan a continuación:

- Agrícola vegetal y animal.
- Residencial urbano.
- El uso minero en la Zona de Manejo Forestal (ZMF), Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL), Zona de Protección (ZP), Zona de Reservorio de Genes (ZRG), Zona de Recuperación (ZR), Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI) y Zona de Manejo Especial Agroforestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEAAPCI).
- Todos los usos están prohibidos en la Zona de Protección (ZP), excepto el uso tradicional – tradicional indígena, investigación, seguridad y defensa.
- Los usos mineros en los cursos de agua sean éstos de régimen permanente o no.
- La sustitución del bosque natural por el uso forestal a través de plantaciones intensivas en forma de monocultivos.
- El uso forestal asociado a aserraderos.
- Los usos asociados a la captura de especies animales y extracción de especies vegetales, salvo los establecidos en el decreto.
- El uso turístico asociado a las instalaciones de alojamientos, tales como hoteles, colonias vacacionales y clubes turísticos fuera del perímetro de los centros poblados, caseríos y comunidades.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- En la Zona de Protección (ZP) y en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG) se excluye la construcción de instalaciones de apoyo al uso ecoturístico.

A continuación, se presentan los análisis de conflictos de los usos actuales forestal, minero, agrícola y pecuario dentro de la RFI (año de referencia 2018), en relación con lo establecido en el *Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal Imataca*; Decreto N° 3 110 del 07/09/2004, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22/09/2004.

2.1. El uso forestal

La RFI concentra una importante superficie de bosque natural cuya composición florística muestra un alto potencial forestal que la llevo a definir como una Figura de régimen de administración especial, con la finalidad de mantener la industria maderera nacional mediante Planes de Ordenación y Manejo Forestal sostenibles. En contra de lo que sugiere el nombre de "Reserva", en Venezuela estas ABRAEs no están dedicadas a la preservación de los bosques sino eminentemente a la producción de madera (Berroterán, J., 2004).

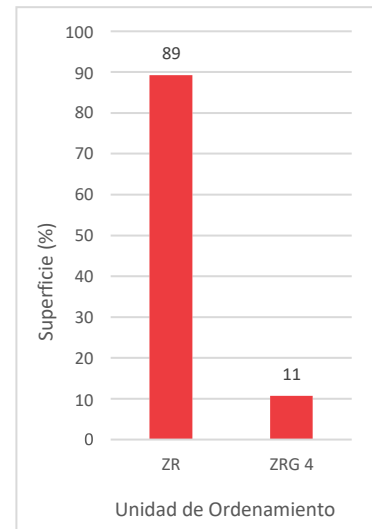
En la RFI la explotación se realiza a través de concesiones forestales otorgadas por el estado, con rotaciones de 40 años, y de acuerdo con principios y criterios de manejo forestal, eso implica que la tasa de extracción del recurso no debe exceder la tasa de renovación o sustitución de este. En el caso de los bosques, la renovación natural del recurso que se maneja (madera) es muy lenta y poco conocida, y a su vez depende del ecosistema bosque, del cual las especies de árboles de importancia comercial son apenas uno de sus componentes.

Según el Decreto 3 110 (Artículo 47) el uso forestal permitido en la RFI comprende la utilización y fomento de los espacios con o sin cubierta boscosa, mediante la implementación de Planes de Ordenación y Manejo Forestal, dirigidos al aprovechamiento de especies maderables y no maderables (taninos, resinas, gomas, látex, palmas, entre otros), la protección de los ecosistemas, la investigación, recreación, fomento y promoción de los servicios ambientales que presta el recurso bosque. Asimismo, comprende las actividades asociadas con el almacenamiento y traslado de la materia prima extraída de la RFI.

El artículo 50 del Decreto 3 110 indica que el uso forestal – manejo forestal del bosque nativo está permitido en: Zona de Manejo Forestal (ZMF), Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI), Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEFM), Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI), Zona de Manejo Especial Agroforestal (ZMEAF) y la Zona de Manejo Especial Agroforestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEAAPCI). El uso forestal – manejo forestal del bosque nativo con restricciones, está permitido en las zonas de manejo forestal con limitaciones.

El análisis del conflicto del uso forestal se realizó a través de la superposición de las unidades del bosque degradado con las unidades de ordenamiento. El conflicto está presente en una superficie de 1 410,08 ha (Figura 2a). La Figura 2b muestra que los conflictos de uso se refieren

a la ubicación de la explotación del bosque nativo en la Zona de Recuperación (ZR) con un 89% y 11% en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG) 4).



(a)

(b)

Figura 2. Distribución espacial del conflicto por el uso forestal en la RFI

2.2. El uso minero

En la RFI, las actividades mineras se conocen desde fines del siglo antepasado, cuando las compañías inglesas y francesas las introdujeron en la región de Guayana. La explotación se basó en la pequeña minería a cielo abierto o minería artesanal, modalidad que aún permanece en uso y es llevada a cabo en forma ilegal (Berroterán, J., 2004).

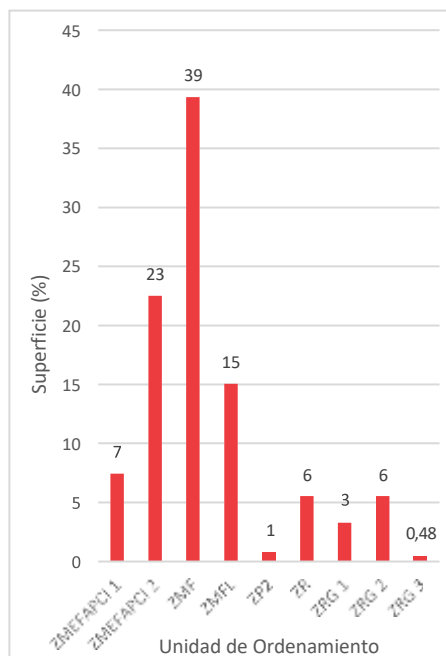
La población minera está conformada por individuos provenientes de diferentes estados de Venezuela y de otros países, generalmente itinerantes que permanecen allí en condiciones de vida precarias, mientras la mina es rentable, razón que hace difícil obtener cifras fehacientes del número de habitantes en los eventuales establecimientos. El asentamiento minero más importante de la RFI es el complejo Ciudad Dorada con una estimación de 3 300 personas dedicadas a la minería (Padilla, 2003).

Diversos autores (Padilla, 2003; Berroterán, 2004; Lozada, 2016) reseñan que la conflictividad minera en la RFI ha traído como consecuencia entre otros, altos índices de deforestación, desertificación, contaminación y sedimentación de los cuerpos de agua, pérdida de especies de animales por caza furtiva y con fines comerciales, aumento de enfermedades de transmisión sexual, malaria, alcoholismo y la trata de mujeres en las comunidades aledañas.



Según el Decreto 3 110 el uso minero dentro de la RFI está permitido en la Zona de Manejo Especial Forestal – Minero (ZMEFM) y en la Zona de Manejo Especial Forestal Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI), este uso está sujeto a las limitaciones establecidas en el Decreto y a las demás normas aplicables.

Al comparar el uso minero identificado para el año 2018 en relación con las unidades de ordenamiento de la RFI, puede observarse que existe conflicto de uso en 19 417,45 ha. La Figura 3 (a y b) muestra la distribución espacial del conflicto del uso minero. La mayoría de los conflictos de uso se refieren a la ubicación de la minería en algún tipo de zona que incluya el manejo forestal: ZMEFAPCI 1, ZMEFAPCI 2, ZMF y ZMFL; todas ellas ocupan una superficie de 84%. Un 9% se ubica en Zonas de Reservorio de Genes (ZRG 1, 2 y 3), 6% en Zonas de Recuperación (ZR) y 1% en la Zona de Protección (ZP 2) (Figura 4.3b).



(a)

(b)

Figura 3. Distribución espacial del conflicto por el uso minero en la RFI

Las Áreas 3 y 4 de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco tienen influencia sobre la RFI (Figura 4a). Esta influencia espacial es importante ya que en el año 2017 se realizó la Aprobación de Ocupación del Territorio (AOT) para uso minero y de desarrollo ecosocialista en 23 zonas del Arco Minero (Decreto N° 3 188, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 41 294 del 6/12/2017). De los 23 polígonos aprobados,



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



resaltados en color amarillo en la Figura 4b; 10 se ubican dentro de la RFI (Figura 4c) y casi en su totalidad, se encuentran dentro de las zonas ZMEFM y ZMEFMAPCI donde el uso minero está permitido. Al considerar estas AOT el conflicto ocupa una superficie de 19 311,95 ha, disminuyendo en sólo 105,50 ha; en la Figura 4d pueden apreciarse ventanas de estos polígonos.

2.3. El uso agrícola y pecuario

FAO (2018) señala que, la relación entre el crecimiento de la población, el aumento de la demanda de terrenos agrícolas y la pérdida de bosques se remonta a miles de años atrás y que, en ocasiones, los bosques se han restablecido de forma natural al aliviarse la presión de la deforestación. Hasta finales del siglo XIX la prevalencia máxima de la deforestación se registró en la región de clima templado, pero actualmente es más elevada en la región de clima tropical.

En el período 2000-2010, se registró una pérdida neta de bosques de 7 millones de hectáreas anuales en los países tropicales y un aumento neto de los terrenos agrícolas de 6 millones de hectáreas al año. La mayor pérdida neta de bosques y el mayor incremento neto de terrenos agrícolas durante este período se produjeron en el grupo de países de ingresos bajos, donde las poblaciones rurales están aumentando.

Mansutti *et al.* (2000) citado por Padilla (2003) refiere que en la RFI el uso agrícola lo ejercen los indígenas y pequeños productores agropecuarios. Los indígenas desarrollan una agricultura de autoconsumo muy restringida y de conucos migratorios de aproximadamente una ha/año ubicados, casi siempre, en medio del bosque, talado con hacha y machete, relativamente cerca de la comunidad y de algún curso de agua. Los pequeños productores agropecuarios criollos se caracterizan por ser, en su mayoría, procedentes de otros estados del país, principalmente Sucre y Monagas.

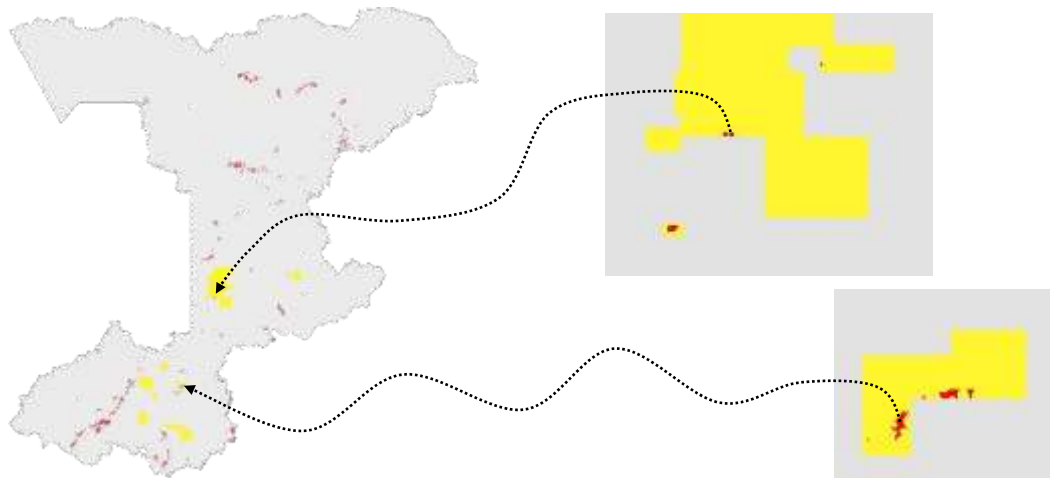
En un sector de la RFI, Delgado, *et al.* (2017), determinó si las causas, a nivel individual, que inducen el cambio de la cobertura boscosa al usar la tierra son similares en los mosaicos del paisaje de la cuenca alta del río Botanamo, en el sur de Venezuela. Los autores identificaron los actores con mayor potencial de impactar el bosque en la cuenca y se caracterizaron en tres dimensiones: socioeconómica, manejo y tenencia de la tierra y cambios de uso/cobertura, a partir de la aplicación de cuestionarios semiestructurados. Los resultados de esta investigación indicaron que los ganaderos y residentes agricultores criollos son los actores que más impactan el bosque y las causas impulsoras directas que inducen los cambios difieren en tres mosaicos del paisaje: bajos ingresos familiares en el mosaico de bosque continuo y sin uso aparente, unidades de producción <10 ha en áreas de expansión urbana, y grandes unidades de producción pecuaria (500-5 000 ha) en el mosaico más fragmentado. Los resultados indican que las causas directas de la deforestación en la cuenca están acopladas con cambios espaciales y temporales del paisaje.



(a)



(b)



(c)

(d)

Figura 4. Uso minero. Distribución espacial del conflicto en la RFI si se considera la delimitación de las zonas aprobadas para la ocupación del territorio (AOT)

El uso agrícola y pecuario está prohibido en la RFI. Sólo está permitido el uso tradicional referido al conuco, definido como una pequeña área de aprovechamiento diversificada de frutos menores (1 o 2 ha), trabajada con procedimientos rudimentarios, asentada en tierras desmontadas, cuya producción está destinada para el consumo cotidiano de las comunidades de la RFI.

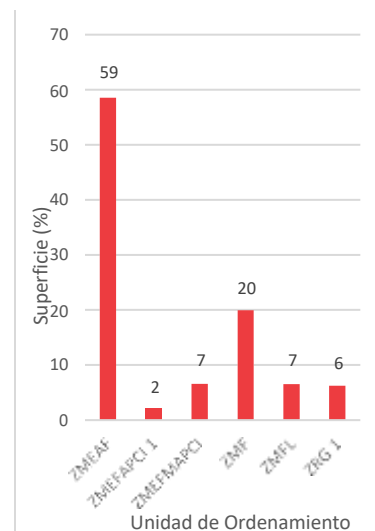
Está permitido que las actividades tradicionales indígenas se desarrollen en asociación con el aprovechamiento forestal no maderable del bosque y la caza no comercial, pues son realizadas ancestralmente y se permiten en todas las zonas de ordenamiento.

Las actividades tradicionales criollas (conuco y pesca no comercial), se permitirán en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI), Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEFM), Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI), Zona de Manejo Especial Agroforestal (ZMEAF) y en la Zona de Manejo Especial Agroforestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEAAPCI).

Para efectos de este análisis y dada la imposibilidad de discretizar si las actividades tradicionales son realizadas por indígenas o criollos, las zonas de conflicto del uso agrícola se determinaron a través del criterio de superficie, considerando las áreas mayores a 2 ha. La distribución espacial del conflicto puede verse en la Figura 5(a) y ocupa 27 595,82 ha, la mayor superficie (59%) se ubica en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEAF) (Figura 5b); el 20% en la Zona de Manejo Forestal (ZMF); 7% en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI); 7% en la Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL); 6% en la Zona de Reservorio de Genes (ZRG 1) Sub-zona del Delta Inferior y 2% en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI) Sub-zona localizada en el eje carretero Tumeremo-Bochinchito.



(a)

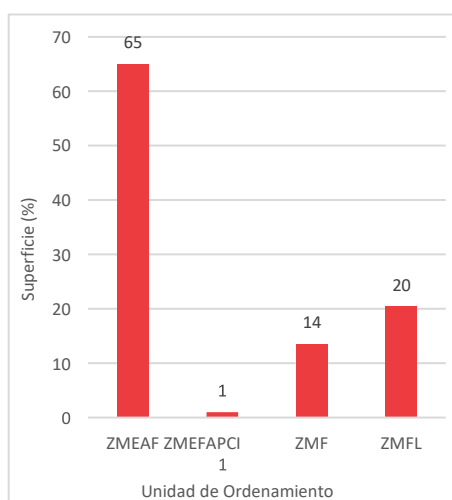


(b)

Figura 5. Distribución espacial del conflicto por uso agrícola en la RFI



El uso pecuario está prohibido en la RFI. Las zonas de conflicto por el uso pecuario pueden verse en la Figura 6(a) y ocupan 6 075,21 ha, en la Figura 6(b) pueden apreciarse los porcentajes de superficie por unidades de ordenamiento: 65% en la Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEAF); 20% en la Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL); 14% en la Zona de Manejo Forestal (ZMF) y 1% en la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI 1) Sub-zona localizada en el eje carretero Tumeremo-Bochinchito.



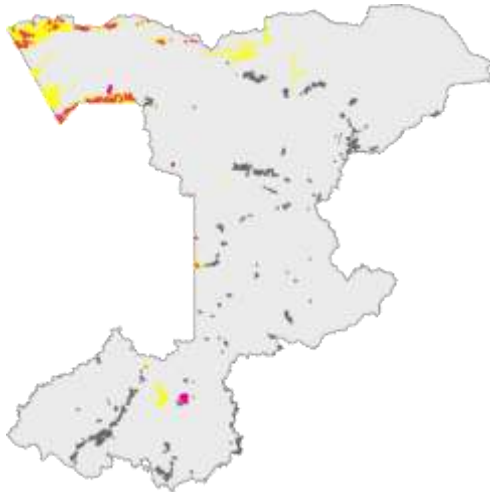
(a)

(b)

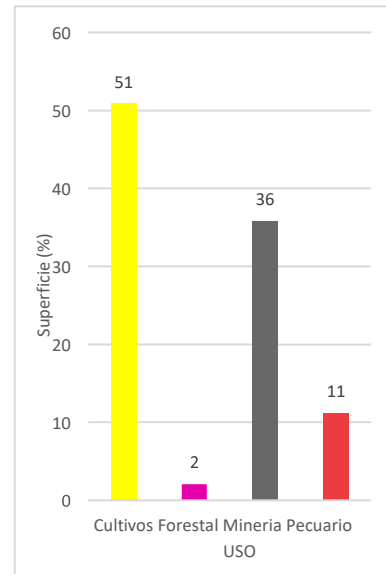
Figura 6. Distribución espacial del conflicto por uso pecuario en la RFI

2.4. Integración de los conflictos de uso

Al integrar los diversos conflictos por usos dentro de los límites de la RFI (Figura 7a), se obtiene una superficie total de 54 112,39 ha. Los porcentajes se distribuyen de la siguiente manera: cultivos (51%), minería (36%), uso pecuario (11%) y uso forestal del bosque nativo (2%) (Figura 7b). Al comparar este valor (54 112,39 ha) con el área total de la RFI, se obtiene un área de conflicto del 1,4%. La Tabla 2 muestra la relación de los valores con el área sujeta a conflictos y con el área total de la RFI.



(a)



(b)

Figura 7. Distribución espacial de conflictos por uso en la RFI

Tabla 2. Porcentajes de superficie de los usos en conflicto

Uso	Área (ha)	% del área en conflicto	% del área total de la RFI
Cultivos	27 595,82	51	0,72
Forestal	1 129,41	2	0,03
Minería	19 311,95	36	0,5
Pecuario	6 075,21	11	0,2
Área total en conflicto	54 112,39	100	1,4
Área de la RFI	3 815 402,32		



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3. Bibliografía

Berroterán, J.L., 2004. *Reserva forestal Imataca. Ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial*. Caracas (Venezuela). Editorial Fundambiente.

Delgado, L. et al. 2017. *Causas directas que inducen el cambio de uso del suelo y de la cobertura boscosa, a escala de paisaje, en el sur de Venezuela*. MARCH 2017, VOL. 42 N° 3. INTERCIENCIA.

FAO. 2018. *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.028 del 22/09/2004

GFW, 2000. *Situación de los bosques en Venezuela. La Región Guayana como caso de estudio*. Caracas (Venezuela). Fundación Polar.

Lozada, J. 2017. *Opciones para una minería de oro que cumpla con las normas ambientales en la Guayana venezolana*. pp. 464—483. *Revista Geográfica Venezolana*. N°58 (2)

Padilla, A. 2003. *Desarrollo Sostenible de la Reserva Forestal Imataca ¿Utopía o Realidad?* pp. 53 –

Servidores y páginas WEB consultadas:

<https://www.bing.com/maps/aerial>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://maps.google.com>

<https://www.openstreetmap.org>

<https://www.amazoniasocioambiental.org/es/>

<https://ejatlas.org/conflict/reserva-forestal-imataca-region-guayana-de-venezuela>

www.youtube.com/watch?v=vcDyTQ2AKm4&feature=channel_video_title.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 3

Identificación de los Servicios Ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

En este capítulo se presentan algunas definiciones básicas sobre servicios ecosistémicos y su clasificación, el valor económico total y su división, finalizándose con la identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor en la Reserva Forestal Imataca.

1. Servicios ecosistémicos y su clasificación

MINAM (2016) señala que la Ley 30 215, referida a los Mecanismos de Retribución de los Servicios Ecosistémicos, define los servicios ecosistémicos como los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas.

En la misma publicación se define un ecosistema como un sistema natural de organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico como una unidad ecológica.

Según el reporte del *Millenium Ecosystem Assessment*, MEA (2005) los servicios ecosistémicos representan los múltiples beneficios que proveen los ecosistemas a los humanos.

Por otro lado, *The Economics of Ecosystem and Biodiversity*, TEEB (2010) señala que los servicios ecosistémicos corresponden a las contribuciones directas e indirectas que proveen los ecosistemas al bienestar humano.

Tomando en cuenta los beneficios que los ecosistemas proveen a los humanos, a través de los servicios ecosistémicos, éstos están dispuestos a pagar por ellos. Es decir, los SE tienen valor económico. En tal sentido, la Comisión de Estadísticas de las Naciones Unidas recomienda el uso del Sistema de Contabilidad Experimental de los Ecosistemas, SEEA (por sus siglas en inglés). Basado en lo anterior, FAO (2017) publica el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica de los sectores de agricultura, forestal y pesca, SEEA-AFF (por sus siglas en inglés). Mediante el uso de este sistema se pueden organizar los datos que permitan la descripción y análisis de la relación de las actividades económicas de los sectores arriba mencionados y el ambiente.

1.1. Clasificación de los servicios ecosistémicos

MEA (2005), TEEB (2010) y FAO (2017) presentan distintas categorías de clasificación de los servicios ecosistémicos. La Clasificación Internacional Común de los Servicios Ecosistémicos, CICES (por sus siglas en inglés), CICES (2017) provee una clasificación, la cual es la que se va usar en este informe final, por ser la recomendada por la Comisión de Estadísticas de las Naciones Unidas.

CICES usa tres categorías de servicios ecosistémicos: provisión, regulación y culturales.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento o provisión, los define MEA (2005) como aquellos productos y materiales que se obtienen del ecosistema. MINAM (2016) los señala como aquellos bienes y servicios que las personas reciben directamente de los ecosistemas. Por ejemplo, alimentos, agua, madera, productos forestales no maderero, entre otros.

Los servicios de regulación, MEA (2005) y MINAM (2016) los definen como los beneficios obtenidos por los procesos de regulación de los ecosistemas y el ambiente. Por ejemplo, regulación del clima, regulación de los flujos de agua, regulación de la erosión, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad para el mantenimiento de las especies y hábitats, entre otros.

Los servicios culturales corresponden a beneficios no materiales que se obtienen del ecosistema para mejorar la calidad de vida (MEA, 2005 y MINAM, 2016). Entre estos se encuentran valores religiosos y espirituales, turismo y recreación, paisajes y bellezas escénicas, valores de inspiración, educación, investigación, sensación de placer y herencias culturales.

CICES usa un sistema jerárquico de categorías comenzando con sección, la cual se divide a su vez en división, ésta a su vez en grupos y éstos en clases.

Un ejemplo es el secuestro de carbono que pertenece a la sección de regulación y mantenimiento, división de mantenimiento de condiciones, físicas, químicas y biológicas, grupo de composición atmosférica y regulación climática y clase de regulación climática global por reducción de gases de efecto de invernadero.

2. Valor Económico total, VET, y su división

Los servicios ecosistémicos tienen valor. MINAM (2016) cita a Vázquez y otros (2007) quienes definen al valor económico total, VET, como la composición de los distintos valores económicos que tienen los servicios ecosistémicos. La suma de los diferentes valores teóricamente corresponde al VET.

2.1. Clasificación de los distintos tipos de valores de los servicios ecosistémicos

Los distintos tipos de valores de los servicios ecosistémicos los presenta la Figura 3.1

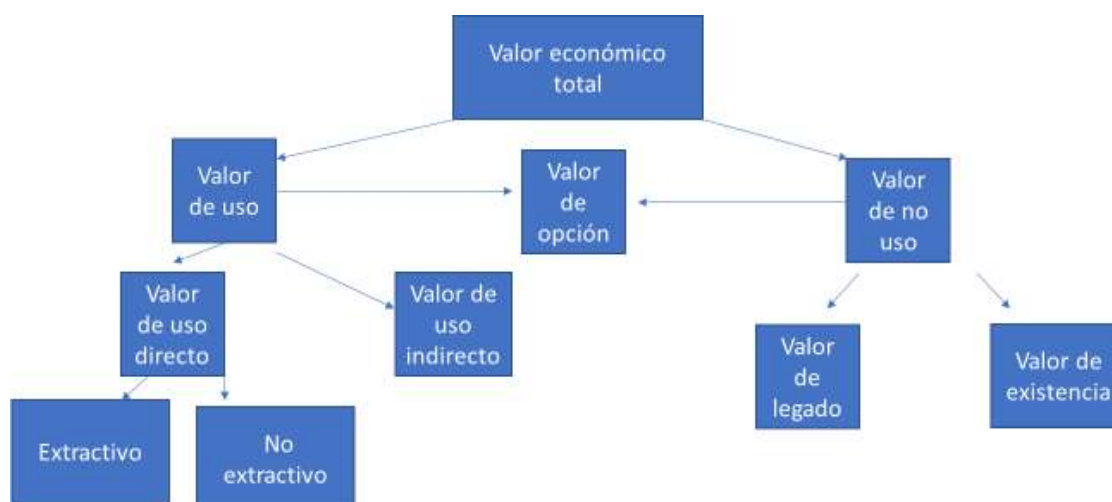


Figura 3.1. Tipos de valores de los servicios ecosistémicos.

Elaboración propia.

El **valor de uso** corresponde al valor que tiene el servicio ecosistémico por el uso que hacen los humanos de este. Este se divide a su vez en valor de uso directo y valor de uso indirecto.

- El valor de uso directo es la valoración que hacen las personas por usar directamente el servicio ecosistémico. Este a su vez se divide en extractivo y no extractivo.
 - Valor de uso directo extractivo es el valor del servicio ecosistémico al proveer beneficios al extraer los mismos. Por ejemplo, la madera de un bosque.
 - Valor de uso directo no extractivo representa el beneficio a las personas provisto por el servicio ecosistémico, pero sin extraer el mismo. Por ejemplo, la recreación proporcionada por los bosques.
- El valor de uso indirecto es el valor del servicio ecosistémico por la función que proporciona. Por ejemplo, al atrape de carbono por los bosques.

El **valor de no uso** corresponde al valor que proporciona las personas a los servicios ecosistémicos de un bosque así no vayan a usar el mismo. Este se divide en valor de legado y valor de existencia.

- El valor de legado es el valor dado por las personas al servicio ecosistémico por legarlo a las generaciones futuras para su disfrute. Por ejemplo, una belleza escénica de un bosque.
- El valor de existencia es el valor del servicio ecosistémico solo por el hecho de existir. Por ejemplo, el valor de una especie en peligro de extinción.

El **valor de opción** corresponde al valor asignado por las personas al servicio ecosistémico por la opción de usarlo o no en el futuro. Por ejemplo, el valor de conservación de la biodiversidad por el hecho de que en futuro se pueda extraer o no una medicina que cure el cáncer.

Masiero y otros (2019) identifican al valor de opción como valor de *quasi* opción y lo ubican como parte del valor de uso. Lo denominan *quasi* opción por los beneficios derivados desde la opción de usar directa o indirectamente los servicios ecosistémicos en el futuro.

Asimismo, los autores clasifican a los valores de no uso como valores de uso pasivo. Los definen como valores no asociados con los valores de uso. Los dividen entre otros valores y valor de existencia. Los otros valores los diferencia entre valor de altruismo y valor de legado. El valor de altruismo corresponde al valor que le da una persona a un recurso natural por el hecho de que el mismo le va a generar bienestar a las otras personas. Los valores de existencia y legado se definen igual a como se habían conceptualizado anteriormente.

La Figura 3.2 presenta los distintos tipos de valores proporcionados por Masiero y otros (2019).

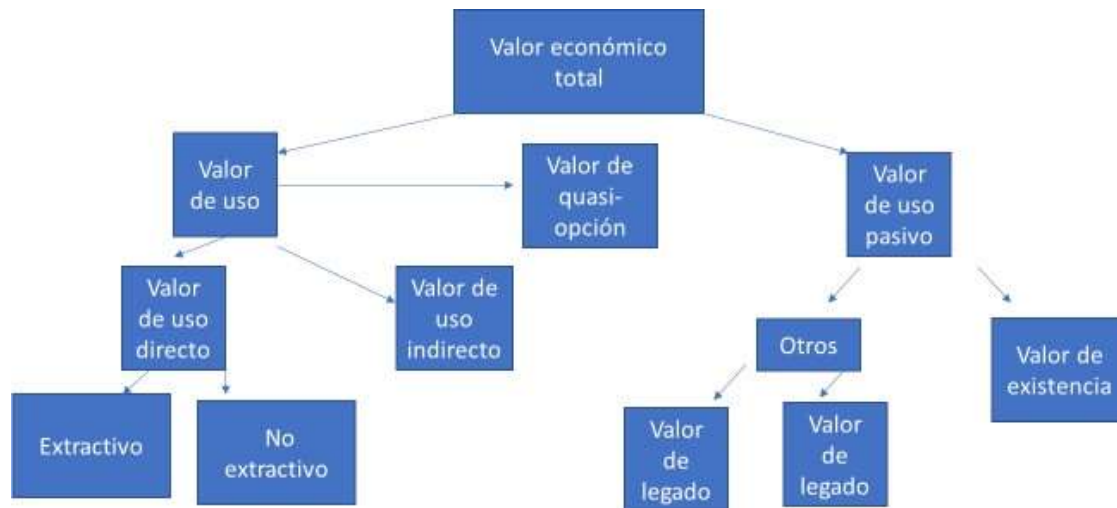


Figura 3.2. Tipos de valores de los servicios ecosistémicos.

Fuente: Masiero y otros, 2019.

3. Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor de la Reserva Forestal Imataca

La Tabla 3.1 presenta la identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor de la Reserva Forestal Imataca.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla 3.1. Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de valor de la RFI.

Servicio ecosistémico/ tipo de valor	Provisión	Regulación	Culturales
Valor de uso directo extractivo	Madera; Madera como combustible; Productos forestales no madereros (frutos, fibras, lianas, medicinas, latex, resinas, aceites vegetales, alimentos, extractores de toxicidades);		
Valor de uso directo no extractivo	Agua.		Servicios espirituales y religiosos; Recreación y ecoturismo; Bellezas escénicas; Paisajes; Inspiración; Estudios;
Valor de uso indirecto		Atrape y almacenamiento de carbono; Regulación del clima; Regulación de los flujos de agua, esto es mantenimiento de flujos en la época seca y control de inundaciones; Control de la erosión del suelo y sedimentación; Mantenimiento de la calidad del agua por minimización de deposición de sedimentos, nutrientes (fósforo y nitrógeno), químicos y salinidad; Reducción de la salinización de las tierras; Mantenimiento de hábitats acuáticos; Polinización; Control de enfermedades	Investigación; Educación; Sensación de placer
Valor de opción	Productos forestales no madereros prospectivos; Recursos genéticos	Conservación de la biodiversidad: genes, especies y ecosistemas	
Valor de no uso de legado			Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques; Preservación del idioma Kariña
Valor de no uso de existencia		Conservación de especies en peligro de extinción	



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Bibliografía

CICES. 2017. *CICES structure (on line)*. (Disponible en: <https://cices.eu/cices-structure/>). Consulta: 21 de abril de 2019.

FAO. 2017. *System of environmental economic accounting for agriculture, forestry and fisheries statistcis*. (Disponible en: www.fao.org/economics/ess/environmet/methodology/en/). Consulta: 21 de abril de 2019.

Masiero, M., Pettenella, D., Boscolo, M., Barua, S.K, Animon, I. y Matta, J.R. 2019. *Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers*. Rome, FAO. Forestry Working Paper No. 11, 216 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human wellbeing: Sinthesis*. Washington, D.C. Island Press.

Ministerio del Ambiente. 2016. *Guía de valoración económica del patrimonio natural*. Lima. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Ministerio del Ambiente.

TEEB. 2010. *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundation*. London. The economics of ecosystem.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 4

Identificación y Clasificación de Actores Involucrados con los Servicios Ecosistémicos de la Reserva Forestal Imataca

A partir de la identificación de los servicios ecosistémicos, SE, de la Reserva Forestal Imataca, RFI, se puede tener una primera aproximación de los actores involucrados con estos.

Un actor es todo individuo que se encuentra o forma parte de un grupo, organización, corporativo u organizacional del sector público, social, privado, organización no gubernamental o agencia internacional que tiene relación directa o indirecta como proveedor, beneficiario, intermediario o generador de conocimiento de los SE de la RFI.

Los actores claves son aquellos individuos que tienen el poder, la capacidad y los medios para decidir e influir sobre cuáles de los SE son prioritarios.

Para la Consultoría, los actores claves se clasifican en:

- Compradores: aquellos que son beneficiarios de los SE y que por lo tanto están dispuestos a pagar por estos para salvaguardarlos, mejorarlos o restaurarlos.
- Vendedores: encargados de la gestión de los SE para garantizar su disponibilidad a los compradores.
- Intermediarios: aquellos encargados de relacionar a los compradores con los vendedores.
- Proveedores de conocimientos: incluye a los expertos en el manejo de los SE, especialistas de valoración ambiental y económica de los SE, planificadores del uso de la tierra, reguladores, comerciantes, consultores legales, quienes proveen conocimientos esenciales a los tres grupos anteriores.

Como se puede observar, un actor pudiera tener diferentes roles en esa clasificación. En el presente capítulo, se presenta una identificación de los actores relacionados con los SE de la RFI. La identificación proviene de fuentes secundarias. En la clasificación, se le asigna al actor el rol principal que tiene con respecto a los SE.

1. Identificación de actores involucrados con los SE de la RFI

Existen muchos actores que hacen vida en la RFI. Sin embargo, para la identificación solo se han colocado los que se consideran principales en relación con los SE. Las Tablas 4.1; 4.2 y 4.3 muestran los actores que se estiman principales y potenciales involucrados con los SE de provisión, regulación y culturales de la RFI, respectivamente.

Tabla 4.1. Actores involucrados con los SE de provisión de la RFI.

Actores/SE	Compradores	Vendedores	Intermediarios	Proveedores de conocimientos
Madera	Diferentes aserraderos de Upata, Guasipati y Tumeremo	ENAFOR, MINEC, CONARE, Misión Árbol	MINEC	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Madera para combustible	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Productos forestales no madereros (frutos, fibras, lianas, medicinas, látex, resinas, aceites vegetales, alimentos, extractores de toxicidades)	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos. Empresa explotadora de palmito.	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Agua	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos. Mineros artesanales y empresas de concesiones mineras, Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco. Población Tumeremo, Ministerio de las Aguas	MINEC, ENAFOR HIDROBOLIVAR		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Recursos genéticos		MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano



Tabla 4.2. Actores involucrados con los SE de regulación de la RFI.

Actores/SE	Compradores	Vendedores	Intermediarios	Proveedores de conocimientos
Atrape y almacenamiento de carbono	Fondo cooperativo para el carbono de los bosques, programa ONU REED, Fondo Bio Carbono	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Regulación del clima	Empresas internacionales de estímulo para el control del cambio climático	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Regulación de los flujos de agua	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos. Mineros artesanales y empresas de concesiones mineras, Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco, Ministerio de las Aguas	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Control de la erosión del suelo y sedimentación	Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco, Ministerio de las Aguas Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos.	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Mantenimiento de la calidad del agua por minimización de deposición de sedimentos, nutrientes, químicos y salinidad	Mineros artesanales y empresas de concesiones mineras, Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco, Ministerio de las Aguas	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Reducción de la salinización de las tierras	Ministerio de las Aguas	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Mantenimiento de hábitats acuáticos	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos, Ministerio de las Aguas	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano

Tabla 4.2. Actores involucrados con los SE de regulación de la RFI (continuación)

Actores/SE	Compradores	Vendedores	Intermediarios	Proveedores de conocimientos
Polinización	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos.	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano	
Control de enfermedades	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos.	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano.	
Conservación de la biodiversidad: genes, especies y ecosistemas	Banco Interamericano de Desarrollo- Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Iniciativa global de Economía de Ecosistemas y Biodiversidad	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano	
Conservación de especies en peligro de extinción	Banco Interamericano de Desarrollo- Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Iniciativa global de Economía de Ecosistemas y Biodiversidad	MINEC, ENAFOR, Grupo de investigadores del proyecto de conservación del águila arpía en Venezuela, CONARE, Misión Árbol	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano	

Tabla 4.3. Actores involucrados con los SE culturales de la RFI

Actores/SE	Compradores	Vendedores	Intermediarios	Proveedores de conocimientos
Servicios espirituales y religiosos	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos. Federación indígena del estado Bolívar	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Recreación y ecoturismo	Empresas turísticas que promueven la veeduría de aves	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Bellezas escénicas	Múltiples actores visitantes y habitantes de la RFI	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Paisajes	Múltiples actores visitantes y habitantes de la RFI	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF; Instituto Forestal Latinoamericano
Inspiración	Múltiples actores visitantes y habitantes de la RFI	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		
Estudios	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		FAO, GEF
Investigación	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		FAO, GEF
Educación	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Universidad Central de Venezuela	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		FAO, GEF
Sensación de placer	Múltiples actores visitantes y habitantes de la RFI	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos, Federación Indígena del estado Bolívar.	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano
Preservación del idioma Kariña	Población Kariña, Federación Indígena del estado Bolívar	MINEC, ENAFOR, CONARE, Misión Árbol		Universidad de Los Andes, Universidad Nacional Experimental de Guayana, FAO, GEF, Instituto Forestal Latinoamericano

2. Clasificación de los actores

La Tabla 4.4, clasifica a los diferentes actores identificados en las Tablas 4.1; 4.2 y 4.3. La clasificación se realiza tomando en cuenta, además de compradores, vendedores, intermediarios o proveedores de conocimientos, si pertenecen al sector público, social, privado, organización no gubernamental o agencia internacional.

Tabla 4.4. *Clasificación de los actores*

Nombre	Rol principal	Sector
Aserraderos de Upata, Guasipati y Tumeremo	Comprador	Privado
Poblaciones indígenas del área (Kariñas, Pemones, Warao), Criollos	Comprador	Social
Empresa explotadora de palmito	Comprador	Privado
Mineros artesanales y empresas de concesiones mineras	Comprador	Privado
Instituto Nacional de Canalizaciones-Gerencia Canal del Orinoco	Comprador	Público
Población Tumeremo	Comprador	Social
Fondo cooperativo para el carbono de los bosques	Comprador	Agencia internacional
Programa ONU REED	Comprador	Agencia internacional
Fondo Bío Carbono	Comprador	Agencia internacional
Empresas internacionales de estímulo para el control del cambio climático	Comprador	Agencia internacional
Banco Interamericano de Desarrollo-Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos	Comprador	Agencia internacional
Iniciativa global de economía de ecosistemas y biodiversidad	Comprador	Agencia internacional
Federación indígena del estado Bolívar	Comprador	Público
Empresas turísticas que promueven la veeduría de aves	Comprador	Privado
Múltiples actores visitantes y habitantes de la RFI	Comprador	Social
Universidad de los Andes	Comprador, Proveedor de conocimientos	Público
Universidad Nacional Experimental de Guayana	Comprador, Proveedor de conocimientos	Público
Universidad Central de Venezuela	Comprador, Proveedor de conocimientos	Público



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 4.4. Clasificación de los actores (continuación)

Nombre	Rol principal	Sector
Instituto Forestal Latinoamericano	Proveedor de conocimientos	Público
ENAFOR	Vendedor	Público
MINEC	Vendedor	Público
CONARE	Vendedor	Público
Misión Árbol	Vendedor	Público
Ministerio de las Aguas	Vendedor	Público
Global Environmental Facility, GEF, (Fondo Mundial del Ambiente)	Proveedor de conocimientos	Agencia internacional
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO	Proveedor de conocimientos	Agencia internacional

Capítulo 5

Priorización de los Servicios Ecosistémicos Para Valorar Económicamente

Después de identificados y clasificados los actores involucrados con los servicios ecosistémicos, SE, se procede a la priorización de estos para conocer cuáles van a ser valorados económicamente.

Esta priorización es necesaria debido a la gran cantidad de SE que posee la RFI, los cuales por limitaciones de tiempo, presupuesto e información disponible no se pueden valorar todos. Los SE fueron clasificados e identificados en el capítulo 3.

En el presente capítulo, se expone la metodología utilizada para la priorización, los resultados, discusión y conclusiones obtenidas.

1. Metodología

Para realizar la priorización se usaron los criterios expuestos en la Figura 5.1.

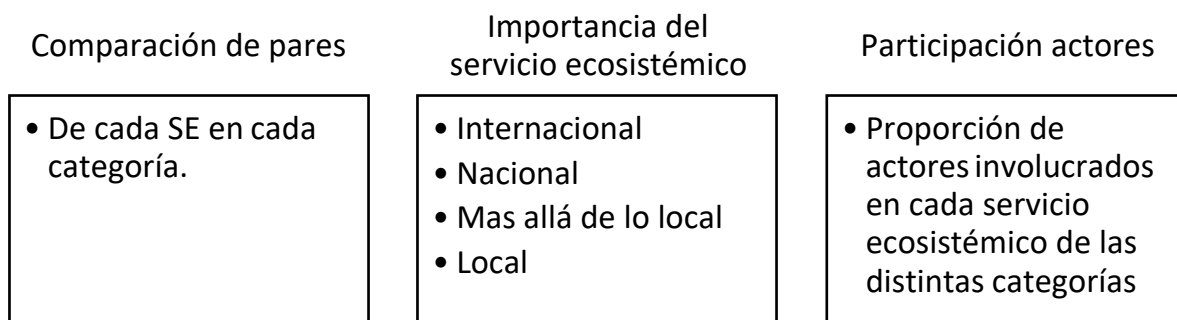


Figura 5.1. Criterios de priorización de los servicios ecosistémicos presentes en la RFI.

Fuente: elaboración propia.

La priorización definitiva se realiza combinando los criterios y sumándolos. A continuación, se describe cada criterio.

1.1. Comparación de pares

La metodología comparación de pares consistió en comparar los SE en cada categoría. Para realizar la comparación se diseñó un instrumento que contiene las instrucciones y las



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



correspondientes Tablas para ejecutar la comparación. El instrumento fue enviado a algunos de los actores involucrados con los SE de la RFI.

1.1.1. Instrucciones

A continuación, se presentan las instrucciones enviadas a los diferentes actores:

INSTRUCCIONES PARA EL LLENADO DE LA MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES PARA LA PRIORIZACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS A VALORAR ECONÓMICAMENTE EN LA RESERVA FORESTAL IMATAKA

Introducción

En la Reserva Forestal Imataca, RFI, se está ejecutando el proyecto Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques bajo la Perspectiva Ecosocial, con financiamiento del Fondo Mundial del Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) y responsabilidades compartidas de la FAO y MINEC principalmente.

En el marco del proyecto se aplica un Protocolo para la Valoración Ambiental y Económica de la reserva, cuyo objetivo 1 es Determinar el valor económico de los distintos valores de uso directo (extractivo, no extractivo), uso indirecto (conservación de la biodiversidad, servicios ambientales), valor de opción, de legado y existencia (especies amenazadas y en peligro de extinción) de la Reserva Forestal Imataca, RFI.

Uno de los pasos metodológicos para alcanzar el objetivo 1 es la priorización de los servicios ecosistémicos, SE, a ser valorados económicamente. Esta priorización es necesaria dada la gran cantidad de SE que posee la RFI, los cuales no se pueden valorar todos por limitaciones de tiempo, presupuesto y disponibilidad de información.

Para realizar la comparación se usará un instrumento de comparación de pares. A continuación, se expone los objetivos de la comparación y el procedimiento a seguir para el llenado de las Tablas base para la comparación.

Objetivos de la comparación

- Conocer la opinión de los distintos actores involucrados, comparando los diferentes SE de cada categoría.
- Determinar en el marco de cada categoría cual SE es considerado más importante por los actores involucrados.

Procedimiento

MINAM (2016) señala que la Ley 30 215, referida a los Mecanismos de Retribución de los Servicios Ecosistémicos, define los servicios ecosistémicos como los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas. En la misma publicación se define un ecosistema como un sistema natural de organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico como una unidad ecológica.



Según el reporte del *Millenium Ecosystem Assessment*, MEA (2005) los servicios ecosistémicos representan los múltiples beneficios que proveen los ecosistemas a los humanos. Por otro lado, *The Economics of Ecosystem and Biodiversity*, TEEB (2009) señala que los servicios ecosistémicos corresponden a las contribuciones directas e indirectas que proveen los ecosistemas al bienestar humano. MEA (2005), TEEB (2009) y FAO (2016) presentan distintas categorías de clasificación de los servicios ecosistémicos. La Clasificación Internacional Común de los Servicios Ecosistémicos, CICES (por sus siglas en inglés), CICES (2017) provee una clasificación, la cual es la que se va usar en la comparación, por ser la recomendada por la Comisión de Estadísticas de las Naciones Unidas.

CICES usa tres categorías de servicios ecosistémicos: provisión, regulación y culturales. Los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento o provisión, los define MEA (2005) como aquellos productos y materiales que se obtienen del ecosistema. MINAM (2016) los señala como aquellos bienes y servicios que las personas reciben directamente de los ecosistemas. Por ejemplo, alimentos, agua, madera, productos forestales no maderero, entre otros.

Los servicios de regulación, MEA (2005) y MINAM (2016) los definen como los beneficios obtenidos por los procesos de regulación de los ecosistemas y el ambiente. Por ejemplo, regulación del clima, regulación de los flujos de agua, regulación de la erosión, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad para el mantenimiento de las especies y hábitats, entre otros.

Los servicios culturales corresponden a beneficios no materiales que se obtienen del ecosistema para mejorar la calidad de vida (MEA, 2005 y MINAM, 2016). Entre estos se encuentran valores religiosos y espirituales, turismo y recreación, paisajes y bellezas escénicas, valores de inspiración, educación, investigación, sensación de placer y herencias culturales.

La Tabla 5.1 presenta la comparación de pares de la categoría de provisión.

Tabla 5.1. *Comparación de pares SE provisión*

	1. Madera	2. Madera para combustible	3. Productos forestales no madereros actuales	4. Productos forestales no madereros prospectivos	5. Recursos genéticos	6. Agua
1. Madera						
2. Madera para combustible						
3. Productos forestales no madereros actuales						
4. Productos forestales no madereros prospectivos						
5. Recursos genéticos						
6. Agua						



En la primera fila se compara de esta manera: Si se considera que madera es más importante que madera para combustible, se coloca 1 en el entrecruce de ambos; si madera es más importante que productos forestales no madereros actuales se coloca 1 en el entrecruce; Si madera es menos importante que productos forestales no madereros prospectivos se coloca 4; Si madera es más importante que recursos genéticos se coloca 1 en el entrecruce de ambos y si madera es menos importante que agua se coloca 6 en el entrecruce de ambos.

Segunda fila, si madera para combustible es menos importante que productos forestales no madereros actuales se coloca 3 en el entrecruce, si madera para combustible es menos importante que productos forestales no madereros prospectivos, se coloca 4 en el entrecruce; si madera para combustible es menos importante que recursos genéticos se coloca 5 en el entrecruce y si madera para combustible es menos importante que agua, se coloca 6 en el entrecruce.

Tercera fila, si productos forestales no madereros actuales es menos importante que productos forestales no madereros prospectivos, se coloca 4 en el entrecruce; si productos forestales no madereros actuales es más importante que recursos genéticos, se coloca 3 en el entrecruce y si productos forestales no madereros actuales es menos importante que agua, se coloca 6 en el entrecruce.

Cuarta fila, si productos forestales no madereros prospectivos es más importante que recursos genéticos se coloca 4 en el entrecruce y si productos forestales no madereros prospectivos es más importante que agua, se coloca 4 en el entrecruce.

Quinta fila, si recursos genéticos es mas importantes que agua, se coloca 5 en el entrecruce.

La Tabla 5.2 presenta el ejemplo de llenado de la comparación de pares SE provisión.

Tabla 5.2. *Ejemplo de llenado comparación de pares SE provisión.*

	1. Madera	2. Madera para combustible	3. Productos forestales no madereros actuales	4. Productos forestales no madereros prospectivos	5. Recursos genéticos	6. Agua
1. Madera		1	1	4	1	6
2. Madera para combustible			3	4	5	6
3. Productos forestales no madereros actuales				4	3	6
4. Productos forestales no madereros prospectivos					4	4
5. Recursos genéticos						5
6. Agua						



La Tabla 5.3 presenta la comparación de pares de SE de regulación

Tabla 5.3. Comparación de pares SE regulación.

	1. Atrape y almacenamiento de carbono	2. Regulación del clima	3. Regulación de los flujos de agua	4. Control de la erosión del suelo y sedimentación	5. Mantenimiento de la calidad del agua	6. Reducción de la salinización de las tierras	7. Mantenimiento de hábitats acuáticos	8. Polinización	9. Control de enfermedades	10. Conservación de la biodiversidad	11. Conservación de especies en peligro de extinción
1. Atrape y almacenamiento de carbono											
2. Regulación del clima											
3. Regulación de los flujos de agua											
4. Control de la erosión del suelo y sedimentación											
5. Mantenimiento de la calidad del agua											
6. Reducción de la salinización de las tierras											
7. Mantenimiento de hábitats acuáticos											
8. Polinización											
9. Control de enfermedades											
10. Conservación de la biodiversidad											
11. Conservación de especies en peligro de extinción											

La Tabla 5.4 presenta la comparación de pares SE culturales.

Tabla 5.4. Comparación de pares SE culturales.

	1. Servicios espirituales y religiosos	2. Recreación y ecoturismo	3. Bellezas escénicas y paisajes	4. Inspiración	5. Estudios e investigación	6. Educación	7. Sensación de placer	8. Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	9. Preservación del idioma Kariña
1. Servicios espirituales y religiosos									
2. Recreación y ecoturismo									
3. Bellezas escénicas y paisajes									
4. Inspiración									
5. Estudios e investigación									
6. Educación									
7. Sensación de placer									
8. Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques									
9. Preservación del idioma Kariña									

Las Tablas 5.3 y 5.4 se llenan siguiendo la misma explicación de la Tabla 5.1.

1.1.2. Procesamiento de los datos

Después de llenada las matrices por cada actor (juez), se procede al cálculo de los siguientes parámetros:

- Cálculo de la frecuencia, F , de cada Juez
- Cálculo de la probabilidad de selección de cada Juez, PS .
- Cálculo del peso, P , de cada criterio
- Priorización

Cálculo de la frecuencia, F , de cada Juez

Para la explicación se usará el siguiente ejemplo: Suponga comparar 5 SE de provisión clasificados: 1. Madera; 2. Madera para combustible; 3. Recursos forestales no madereros; 4. Recursos genéticos y 5. Agua. Asuma que lo ejecutaron tres jueces, cuyas respuestas los presenta la Figura 5.2.

Juez 1					
Criterio	1. Madera	2. Madera para combustible	3. RF no madereros	4. Recursos genéticos	5. Agua
1. Madera		2	3	4	5
2. Madera para combustible			3	4	5
3. RF no maderero				4	5
4. Recursos genéticos					5
5. Agua					

Juez 2					
Criterio	1. Madera	2. Madera para combustible	3. RF no madereros	4. Recursos genéticos	5. Agua
1. Madera		2	3	4	5
2. Madera para combustible			3	4	5
3. RF no maderero				3	5
4. Recursos genéticos					4
5. Agua					

Juez 3					
Criterio	1. Madera	2. Madera para combustible	3. RF no madereros	4. Recursos genéticos	5. Agua
1. Madera		2	3	4	5
2. Madera para combustible			3	4	5
3. RF no maderero				4	5
4. Recursos genéticos					5
5. Agua					

Figura 5.2. Resultados de llenados de las matrices por tres jueces.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5.5 muestra el cálculo de la frecuencia, F, de cada Juez, la cual es las veces que un Juez seleccionó determinado criterio.

Tabla 5.5. Frecuencia de cada Juez

Frecuencia de selección de cada Juez			
Criterio	Juez 1	Juez 2	Juez 3
1. Madera	0	0	0
2. Madera para combustible	1	1	1
3. RF no maderero	2	3	2
4. Recursos genéticos	3	3	3
5. Agua	4	3	4

Cálculo de la probabilidad de selección de cada Juez, PS.

La probabilidad de selección de cada juez se estima con la ecuación:

$$PS = \frac{F}{NC}$$

(Ecuación 5.1)

Donde NC es el número de comparaciones posibles estimado con la ecuación:

$$NC = (n * \checkmark n - 1 \checkmark) / 2$$

(Ecuación 5.2)

Siendo n el número de criterios a comparar, en este caso 5.

La Tabla 5.6 presenta los resultados de PS

Tabla 5.6. Resultados de PS

Frecuencia entre NC			
Criterio	Juez 1	Juez 2	Juez 3
1. Madera	0	0	0
2. Madera para combustible	0,1	0,1	0,1
3. RF no maderero	0,2	0,3	0,2
4. Recursos genéticos	0,3	0,3	0,3
5. Agua	0,4	0,3	0,4

Cálculo del peso, P , de cada criterio

El peso, P , de cada criterio se estima con la ecuación:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N PS_i}{N}$$

(Ecuación 5.3)

Donde:

N es el número de Jueces.

La Tabla 5.7 presenta el peso P de los diferentes criterios

Tabla 5.7. Peso, P , de los diferentes criterios

Cálculo de peso de cada criterio						
Criterio	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Total	Número de jueces, N	Peso, P
1. Madera	0	0	0	0	3	0
2. Madera para combustible	0,1	0,1	0,1	0,3	3	0,1
3. RF no maderero	0,2	0,3	0,2	0,7	3	0,23
4. Recursos genéticos	0,3	0,3	0,3	0,9	3	0,3
5. Agua	0,4	0,3	0,4	1,1	3	0,37
						1

Priorización

De acuerdo con los resultados de la Tabla 5.7, el agua es el servicio más prioritario, seguido de los recursos genéticos, luego los recursos forestales no madereros, la madera para combustible y madera.



1.2. Importancia del servicio ecosistémico

Para estimar la importancia del servicio ecosistémico se asigna los siguientes valores a las distintas categorías:

- Internacional: el SE es muy importante para la comunidad internacional, valor 4.
- Nacional: el SE es importante para todo el país, valor 3.
- Más allá de lo local: la importancia del SE trasciende a los actores locales (debe identificarse si lo local se refiere a parroquias, municipios o estados), Valor 2.
- Local: el SE es muy importante para las comunidades locales asentadas en una parroquia, un municipio o un estado, Valor 1.

1.3. Proporción de actores

La proporción de actores corresponde a:

- Proporción de la participación de actores en los tipos de SE por categorías.

Se refiere a la cantidad de organizaciones involucradas por cada SE en las diferentes categorías. Se encuentra dividiendo la cantidad de organizaciones presentes en cada SE de una determinada categoría entre la cantidad total de organizaciones en cada categoría.

1.4. Priorización definitiva

La priorización definitiva se consigue, para cada SE en su respectiva categoría, sumando las proporciones de los diferentes criterios.

2. Resultados

2.1. Comparación de pares

La Tabla 5.8 presenta los resultados para los SE de provisión

Tabla 5.8. Resultados SE de provisión

Criterio	Peso
Madera	0,15
Madera para combustible	0,02
Productos forestales no madereros actuales	0,18
Productos forestales no madereros prospectivos	0,17
Recursos genéticos	0,2
Agua	0,29



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El orden de priorización es agua, recursos genéticos, productos forestales no madereros actuales, productos forestales no madereros prospectivos, madera y madera para combustible.

La Tabla 5.9 muestra los resultados para los SE de regulación.

Tabla 5.9. *Resultados SE de regulación*

Criterio	Peso
Atrape y almacenamiento de carbono	0,1
Regulación del clima	0,09
Regulación de los flujos de agua	0,11
Control de la erosión del suelo y sedimentación	0,11
Mantenimiento de la calidad del agua	0,13
Reducción de la salinización de las tierras	0,04
Mantenimiento de hábitats acuáticos	0,07
Polinización	0,06
Control de enfermedades	0,09
Conservación de la biodiversidad	0,13
Conservación de especies en peligro de extinción	0,07

Los criterios conservación de la biodiversidad y mantenimiento de la calidad del agua son los prioritarios. Continúan la regulación de los flujos de agua y control de la erosión del suelo y sedimentación. Seguidamente el atrape y almacenamiento de carbono, luego la regulación del clima y el control de enfermedades. Sigue el mantenimiento de hábitats acuáticos y la conservación de especies en peligro de extinción. Finalizan la polinización y la reducción de la salinización de las tierras.

La Tabla 5.10 presenta los resultados para los SE culturales

Tabla 5.10. *Resultados SE culturales*

Criterio	Peso
Servicios espirituales y religiosos	0,06
Recreación y ecoturismo	0,12
Bellezas escénicas y paisajes	0,15
Inspiración	0,03
Estudios e investigación	0,17
Educación	0,16
Sensación de placer	0,03
Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	0,17
Preservación del idioma Kariña	0,12

En los SE culturales estudios e investigación y herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques son los prioritarios, continúan educación y bellezas escénicas y paisajes. Seguidamente, recreación y turismo y la preservación del idioma Kariña. Finalizan servicios espirituales y religiosos, inspiración y sensación de placer.

2.2. Importancia del servicio ecosistémico

La Tabla 5.11 presenta la importancia de los SE de provisión.

Tabla 5.11. *Importancia de los SE de provisión.*

Criterio	Importancia	Proporción
Madera	4	0,27
Madera para combustible	1	0,07
Productos forestales no madereros actuales	2	0,13
Productos forestales no madereros prospectivos	4	0,27
Recursos genéticos	2	0,13
Agua	2	0,13

La Tabla 5.12 muestra la importancia de los SE de regulación.

Tabla 5.12. *Importancia de los SE de regulación.*

Criterio	Importancia	Proporción
Atrape y almacenamiento de carbono	4	0,15
Regulación del clima	1	0,04
Regulación de los flujos de agua	4	0,15
Control de la erosión del suelo y sedimentación	4	0,15
Mantenimiento de la calidad del agua	2	0,07
Reducción de la salinización de las tierras	1	0,04
Mantenimiento de hábitats acuáticos	1	0,04
Polinización	1	0,04
Control de enfermedades	2	0,07
Conservación de la biodiversidad	3	0,11
Conservación de especies en peligro de extinción	4	0,15

La Tabla 5.13 presenta la importancia de los SE culturales.

Tabla 5.13. *Importancia de los SE culturales.*

Criterio	Importancia	Proporción
Servicios espirituales y religiosos	1	0,05
Recreación y ecoturismo	4	0,18
Bellezas escénicas y paisajes	2	0,09
Inspiración	1	0,05
Estudios e investigación	3	0,14
Educación	3	0,14
Sensación de placer	1	0,05
Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	3	0,14
Preservación del idioma Kariña	4	0,18

2.3. Proporción de la participación de actores en los tipos de SE por categorías.

La Tabla 5.14 presenta la proporción de actores en la categoría de SE de provisión.

Tabla 5.14. *Proporción de actores SE de provisión.*

Criterio	Cantidad de organizaciones	Organizaciones totales	Proporción
Madera	15	88	0,17
Madera para combustible	14	88	0,16
Productos forestales no madereros actuales	15	88	0,17
Productos forestales no madereros prospectivos	15	88	0,17
Recursos genéticos	10	88	0,11
Agua	19	88	0,22

La Tabla 5.15 muestra la proporción de actores en la categoría de SE de regulación.

Tabla 5.15. *Proporción de actores SE regulación.*

Criterio	Cantidad de organizaciones	Organizaciones totales	Proporción
Atrape y almacenamiento de carbono	13	153	0,08
Regulación del clima	11	153	0,07
Regulación de los flujos de agua	18	153	0,12
Control de la erosión del suelo y sedimentación	12	153	0,08
Mantenimiento de la calidad del agua	18	153	0,12
Reducción de la salinización de las tierras	11	153	0,07
Mantenimiento de hábitats acuáticos	15	153	0,1
Polinización	14	153	0,09
Control de enfermedades	14	153	0,09
Conservación de la biodiversidad	13	153	0,08
Conservación de especies en peligro de extinción	14	153	0,09

La Tabla 5.16 presenta la proporción de actores para los SE culturales

Tabla 5.16. *Proporción actores SE culturales.*

Criterio	Cantidad de organizaciones	Organizaciones totales	Proporción
Servicios espirituales y religiosos	14	95	0,15
Recreación y ecoturismo	10	95	0,11
Bellezas escénicas y paisajes	11	95	0,12
Inspiración	6	95	0,06
Estudios e investigación	9	95	0,09
Educación	9	95	0,09
Sensación de placer	11	95	0,12
Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	14	95	0,15
Preservación del idioma Kariña	11	95	0,12

2.4. Priorización definitiva

La Tabla 5.17 presenta los resultados de la priorización definitiva para los SE de provisión.

Tabla 5.17. *Priorización definitiva SE de provisión.*

Criterio	Comparación de pares	Importancia	Proporción actores	Suma
Madera	0,15	0,27	0,17	0,59
Madera para combustible	0,02	0,07	0,16	0,25
Productos forestales no madereros actuales	0,18	0,13	0,17	0,48
Productos forestales no madereros prospectivos	0,17	0,27	0,17	0,61
Recursos genéticos	0,2	0,13	0,11	0,44
Agua	0,29	0,13	0,22	0,64

La Tabla 5.18 presenta los resultados de la priorización definitiva para los SE de regulación.

Tabla 5.18. *Priorización definitiva SE de regulación.*

Criterio	Comparación de pares	Importancia	Proporción actores	Total
Atrape y almacenamiento de carbono	0,1	0,15	0,08	0,33
Regulación del clima	0,09	0,04	0,07	0,2
Regulación de los flujos de agua	0,11	0,15	0,12	0,38
Control de la erosión del suelo y sedimentación	0,11	0,15	0,08	0,34
Mantenimiento de la calidad del agua	0,13	0,07	0,12	0,32
Reducción de la salinización de las tierras	0,04	0,04	0,07	0,15
Mantenimiento de hábitats acuáticos	0,07	0,04	0,1	0,21
Polinización	0,06	0,04	0,09	0,19
Control de enfermedades	0,09	0,07	0,09	0,25
Conservación de la biodiversidad	0,13	0,11	0,08	0,32
Conservación de especies en peligro de extinción	0,07	0,15	0,09	0,31

La Tabla 5.19 presenta los resultados de la priorización definitiva para los SE culturales.

Tabla 5.19. *Priorización definitiva SE culturales.*

Criterio	Comparación de pares	Importancia	Proporción de actores	Total
Servicios espirituales y religiosos	0,06	0,05	0,15	0,26
Recreación y ecoturismo	0,12	0,18	0,11	0,41
Bellezas escénicas y paisajes	0,15	0,09	0,12	0,36
Inspiración	0,03	0,05	0,06	0,14
Estudios e investigación	0,17	0,14	0,09	0,4
Educación	0,16	0,14	0,09	0,39
Sensación de placer	0,03	0,05	0,12	0,2
Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	0,17	0,14	0,15	0,46
Preservación del idioma Kariña	0,12	0,18	0,12	0,42



Los recuadros resaltados en amarillo presentan los 3 servicios ecosistémicos priorizados para las categorías de provisión, regulación y culturales respectivamente. En tal sentido, la Tabla 5.20 muestra los SE priorizados por categorías.

Tabla 5.20. SE priorizados por categorías en la RFI.

Provisión	Categoría de SE	
	Regulación	Culturales
Agua	Regulación de los flujos de agua	Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques
Productos forestales no madereros prospectivos	Control de la erosión del suelo y sedimentación	Preservación del idioma Kariña
Madera	Atrape y almacenamiento de carbono	Recreación y ecoturismo

3. Revisión de la priorización de los SE a valorar económicamente en la RFI

Revisado los resultados anteriores, en orden de tomar en cuenta todos los servicios ecosistémicos, se ejecutó una nueva priorización usando la siguiente ecuación de normalización:

$$VP = \frac{\tilde{x} - \text{Valor mínimo}}{\tilde{x} - \text{Valor máximo} - \text{Valor Mínimo}} \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Donde:

x corresponde al valor que tiene el SE en su respectiva categoría,

Valor máximo es el máximo valor encontrado en la categoría y,

Valor mínimo, es el mínimo valor en la categoría.

Con base en lo anterior, las Figuras 5.3; 5.4 y 5.5 muestran la priorización normalizada para las categorías de provisión, regulación y culturales respectivamente.

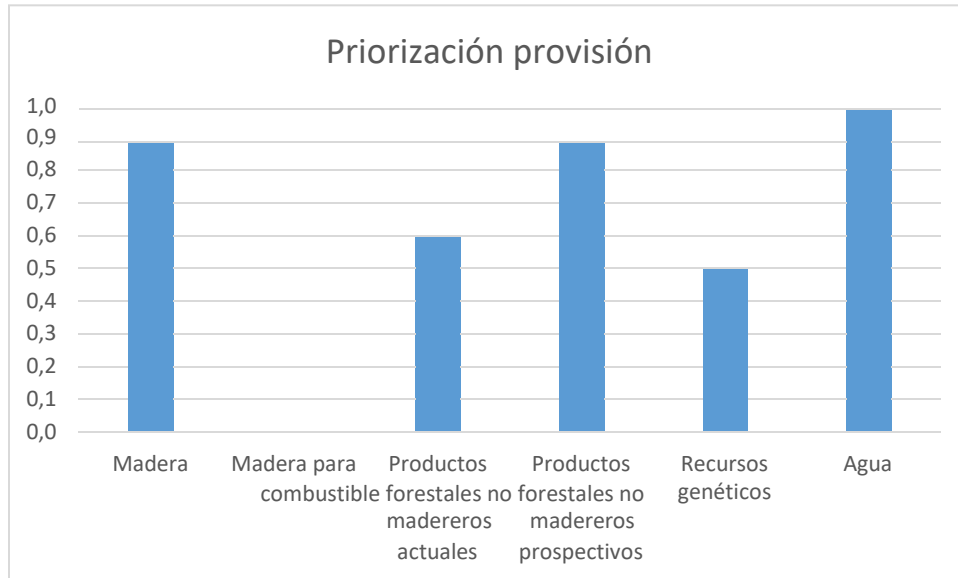


Figura 5.3. Priorización SE Provisión.

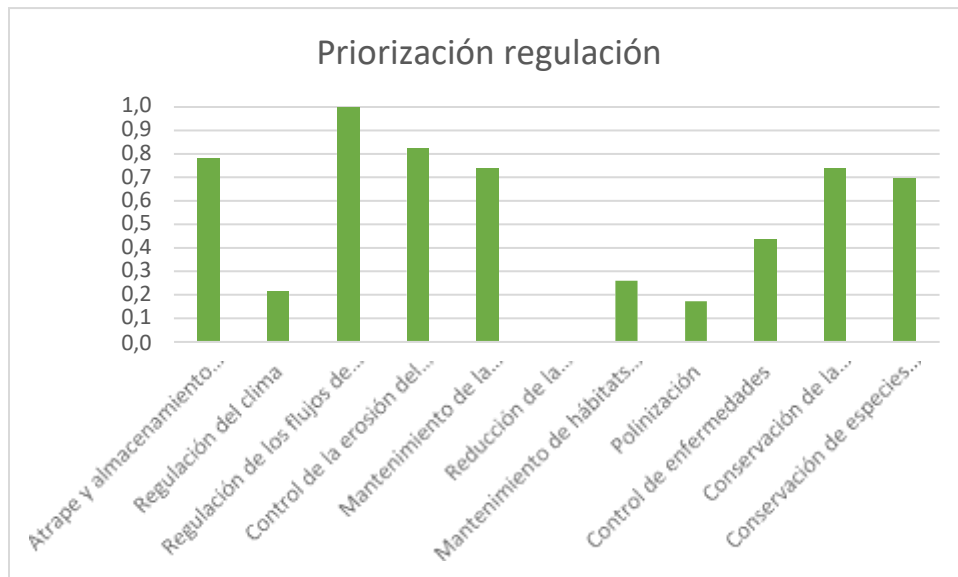


Figura 5.4. Priorización de SE de Regulación



Figura 5.5. Priorización de SE Culturales.

Asimismo, la Tabla 5.21 presenta la normalización mostradas en las Figuras anteriores.

Tabla 5.21. Priorización de los diferentes SE de las distintas categorías.

Normalización valores de servicios ecosistémicos					
Provisión	Priorización provisión	Regulación	Priorización regulación	Culturales	Priorización culturales
Madera	0,9	Atrape y almacenamiento de carbono	0,8	Servicios espirituales y religiosos	0,4
Madera para combustible	0,0	Regulación del clima	0,2	Recreación y ecoturismo	0,8
Productos forestales no madereros actuales	0,6	Regulación de los flujos de agua	1,0	Bellezas escénicas y paisajes	0,7
Productos forestales no madereros prospectivos	0,9	Control de la erosión del suelo y sedimentación	0,8	Inspiración	0,0
Recursos genéticos	0,5	Mantenimiento de la calidad del agua	0,7	Estudios e investigación	0,8
Agua	1,0	Reducción de la salinización de las tierras	0,0	Educación	0,8
		Mantenimiento de hábitats acuáticos	0,3	Sensación de placer	0,2
		Polinización	0,2	Herencia cultural por prácticas de manejo ancestrales de los bosques	1,0
		Control de enfermedades	0,4	Preservación del idioma Kariña	0,9
		Conservación de la biodiversidad	0,7		
		Conservación de especies en peligro de extinción	0,7		



Usando un criterio de selección de valores de normalización igual o mayores de 0,7, la Tabla 5.22 muestra los SE seleccionados por categorías.

Tabla 5.22. SE seleccionados por categorías.

Provisión	Regulación	Culturales
<ul style="list-style-type: none">• Madera• Productos forestales no madereros prospectivos• Agua	<ul style="list-style-type: none">• Atrape y almacenamiento de carbono• Regulación de los flujos de agua• Control de la erosión del suelo y sedimentación• Mantenimiento de la calidad del agua• Conservación de la biodiversidad• Conservación de especies en peligro de extinción	<ul style="list-style-type: none">• Recreación y ecoturismo• Bellezas escénicas y paisajes• Estudios e investigación• Educación• Herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques.• Preservación del idioma Kariña.

4. Conclusiones

Derivado de los resultados anteriores, se concluye que los servicios prioritarios a valorar económicamente en la RFI son:

- Provisión: Rendimiento hídrico (agua), Madera y productos forestales no madereros.
- Regulación: Atrape y almacenamiento de carbono, regulación de los flujos de agua, control de la erosión del suelo y sedimentación, mantenimiento de la calidad del agua, conservación de la biodiversidad y de especies en peligro de extinción.
- Culturales: recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, estudios e investigación, educación, herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



5. Bibliografía

CICES. 2017. CICES: *Towards a common clasification of ecosystem services*. (Disponible en: <https://cices.eu/the-equivalences-between-cices-and-the-classification-used-the-ma-teeb>).

Acceso: 11 de enero de 2019.

FAO. 2016. System of environmental economic accountig for agriculture, forestry and fisheries. White Cover Version. New York. Food and Agriculture Organization and Deparment of Economic and Social Affairs, Statistic Division United Nations. United Nations,

Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well being: Sinthesis*. Washington, D.C. Island Press.

Ministerio del Ambiente. 2016. *Guía de valoración económica del patrimonio natural*. Lima. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Ministerio del Ambiente.

TEEB. 2009. *Integrating ecosystem and biodiversity values into policy assessment*. In: the economics of ecosystems and biodiversity: TEEB for national and international policy makers. Chapter 4.

Capítulo 6

Identificación, Clasificación, Descripción General y Selección Preliminar de las Técnicas de Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos Priorizados

En este capítulo se identifican, clasifican y describen generalmente las diversas técnicas de valoración económica de los servicios ecosistémicos. Así mismo, se realiza una selección preliminar de los métodos de valoración económica que potencialmente pudieran ser usados para valorar los SE priorizados.

Antes de identificar las técnicas, es de suma importancia clasificar los diferentes tipos de valores que presentan los SE priorizados en el marco del valor económico total, VET.

1. Valor económico Total de los SE priorizados

La Figura 4 muestra la clasificación de los diferentes tipos de valores de los SE priorizados.

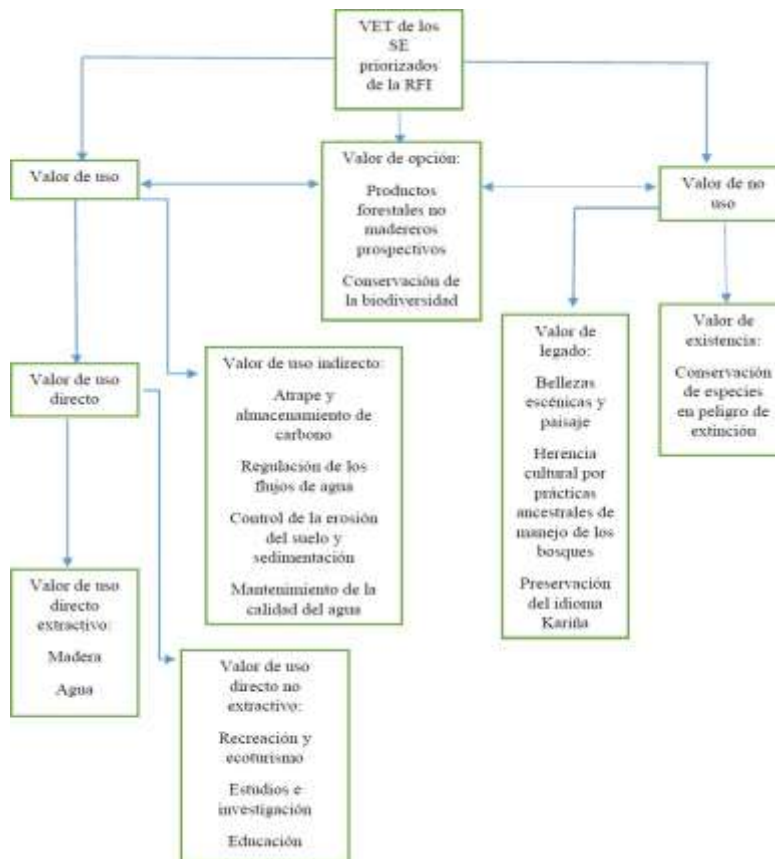


Figura 6.1. Tipos de valores de los SE priorizados de la RFI



El valor de uso directo corresponde a la Disposición a Pagar (DAP) por el uso directo del recurso. Este puede ser extractivo como la madera, por ejemplo y no extractivo como la recreación.

El valor de uso indirecto se refiere a los beneficios derivados de la función que cumple el ecosistema sin tener directa interacción con este. Por ejemplo, atrape y almacenamiento de carbono.

El valor de opción representa el valor que tiene el recurso natural por la opción de usarse o no en el futuro. En caso de potencialmente usarse directa o indirectamente se refiere a valor de cuasiopción. Un ejemplo de ello es la DAP por la conservación de la biodiversidad, ya que de la misma se puede extraer una medicina en el futuro para combatir algunas enfermedades.

Asimismo, el valor de no uso corresponde a la DAP por el recurso así nunca vaya a ser usado.

Entretanto, el valor de existencia es la DAP por el recurso solo por el hecho de existir, por ejemplo, la DAP por la conservación de animales en peligro de extinción. Por otra parte, el valor de legado es la DAP por el recurso porque se quiere dejar el mismo para las generaciones futuras, por ejemplo, la DAP por una belleza escénica que se quiere conservar para el disfrute de las generaciones futuras.

2. Identificación y clasificación de las técnicas de valoración económica de servicios ecosistémicos

Muchos autores identifican y clasifican de manera diferente las técnicas de valoración de los SE; a continuación, se realiza un resumen de algunas identificaciones y clasificaciones seleccionadas:

Masiero y otros (2019) identifica y clasifica a las técnicas de valoración de los SE que no tienen precios en el mercado de la manera siguiente (Figura 6.2):

Enfoques que usan valores de mercados relacionados	Enfoques que usan curvas de demanda	Transferencia de beneficios
<ul style="list-style-type: none">• A través de los beneficios: costos de oportunidad y funciones de producción.• A través de los costos: costos de reemplazo; costos de bienes sustitutos; gastos defensivos y costos de seguros y daños.	<ul style="list-style-type: none">• Métodos indirectos (preferencias reveladas): precios hedónicos y método del costo de viaje.• Métodos directos (preferencias declaradas): valoración contingente y métodos de selección (experimentos de selección)	<ul style="list-style-type: none">• Transferencia de valor unitario.• Transferencia de función.• Metaanálisis

Figura 6.2. Identificación y clasificación de las técnicas de valoración de los SE.

Fuente: Masiero y otros, 2019.

MinAmbiente (2018) identifica y clasifica las técnicas de valoración según lo muestra la Figura 6.3.

Métodos de preferencias reveladas	Métodos de preferencias declaradas	Transferencias de beneficios
<ul style="list-style-type: none"> • Costo de viaje • Precios hedónicos: propiedades y salarios. • Costos evitados o inducidos: cambios en la productividad; costos de producción y costos en salud. • Gastos actuales o potenciales: gastos de prevención, restauración y reemplazo; gastos defensivos y proyectos sombra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración contingente • Experimentos de elección y valoración conjoint. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de valor unitario. • Transferencia de función. • Metaanálisis.

Figura 6.3. Identificación y clasificación de las metodologías de valoración económica de SE.
Fuente: MinAmbiente, 2018.

Por otra parte, MINAM (2016) identifica y clasifica los métodos de valoración económica según lo presenta la Figura 6.4.

Métodos basados en valores de mercado	Métodos basados en preferencias reveladas	Métodos basados en preferencias declaradas	Transferencia de beneficios
<ul style="list-style-type: none"> • Precios de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la productividad • Costos de viaje • Precios hedónicos • Costos evitados 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración contingente • Experimentos de elección 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de valor unitario • Transferencia de función • Metaanálisis

Figura 6.4. Métodos de valoración económica de servicios ecosistémicos.
Fuente: MINAM, 2016.

Pacha (2014) identifica y clasifica los métodos de valoración económica de los SE según lo muestra la Figura 6.5.

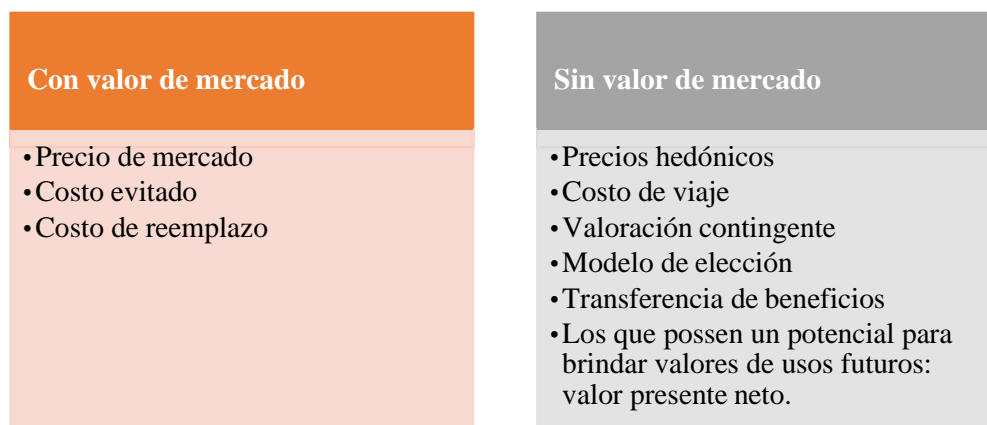


Figura 6.5. Métodos de valoración económica de SE.

Fuente: Pacha, 2014.

Freeman III y otros (2014) mencionan algunos métodos para valorar los servicios ecosistémicos. Entre estos: cambio de productividad, costos de viaje, costos de reemplazo, precios hedónicos, valoración contingente, experimentos de elección y daños evitados.

Existen muchas otras publicaciones de diferentes autores que tienen identificados los métodos de valoración económica de los SE. La mayoría, si no todos, presentan los mismos métodos anteriormente mencionados.

3. Descripción general de las técnicas de valoración económica de los SE

En aras de introducir las diferentes técnicas de valoración económica de los SE, a continuación, se resumirán las principales características de éstas. Una descripción más detallada de las técnicas se ejecuta cuando se realiza su aplicación en la RFI. En el presente apartado, la descripción se hace desde los métodos considerados más sencillos a los más complicados.

3.1. Método de precios de mercado o de valores de mercado

Se aplica para aquellos SE que tienen un precio de mercado, dado por los consumidores y los productores de dicho bien. El principal supuesto del método es que asume que los mercados de los SE son competitivos y reflejan el precio adecuado de los mismos.

MINAMB (2015) señala que una manera sencilla de aplicar el método es conocer los beneficios netos del productor del SE (excedente del productor). Los mismos vienen dado por la siguiente ecuación:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



$$BN = It - Ct$$

(Ecuación 6.1)

Donde:

It es lo que los consumidores les pagan a los productores por provisionarles el bien.

Ct son los costos en que incurren los productores para proporcionar el bien a los consumidores.

La principal ventaja del método es su sencillez, seguido de que los precios, las cantidades del bien y los costos son fáciles de obtener en los mercados establecidos. La desventaja es que no todos los SE son transados en los mercados; si los mercados no son competitivos, el precio no refleja el verdadero valor económico del bien, por lo que habrá que corregir las distorsiones y, por último, no permite valorar SE de valor de no uso.

3.2. Métodos de costo de prevención, corrección, mitigación o compensación

Estos métodos corresponden a los costos que se realizan para prevenir, corregir, mitigar o compensar cualquier efecto que se pueda causar sobre un SE.

En sí mismos, estos métodos no valoran al SE directamente, sino al impacto o daño que pueda ser causado por intervenciones humanas o naturales sobre el SE. Por ejemplo, el incendio de un bosque va a traer pérdidas de los SE de éste. Los gastos que se incurran para prevenir, corregir, mitigar o compensar los efectos del incendio sobre el bosque representan la valoración mínima que se tiene sobre los SE del mismo.

La premisa fundamental para aplicar estos métodos es que los agentes económicos están dispuestos a realizar los gastos para prevenir, corregir, mitigar o compensar los impactos sobre los SE.

Los costos de prevención se refieren a todos los gastos realizados para prevenir que el impacto o daño sobre el SE no ocurra.

Los costos de corrección son aquellos gastos realizados para corregir el impacto o daño, con la condición de que el SE vuelva a su condición original antes del evento.

Los costos de mitigación son aquellos gastos realizados para mitigar el impacto o daño, con la condición de que el SE no vuelva a su condición original antes del evento, pero sí a una cercana. Es decir que queda un pasivo ambiental pues no se corrige por completo el impacto o daño sobre el SE.

Los costos de compensación son aquellos gastos que se realizan fuera del área del impacto o daño debido a que estos son irreversibles. Los costos se ejecutan en otra zona tratando de asemejar al SE que se ha impactado o dañado.

En términos generales los costos son:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento
- Costos administrativos
- Costos externos
- Costos de seguridad
- Costos de oportunidad

Los costos de inversión corresponden a los gastos en materiales, equipos, mano de obras y otros insumos, entre otras, para construir o adquirir la medida de prevención, corrección, mitigación o compensación necesaria.

Los costos de operación y mantenimiento son para garantizar el funcionamiento de la medida.

Por su parte, los gastos administrativos se refieren a los gastos asociados a los procesos administrativos de los dos costos anteriores.

Los costos externos corresponden a aquellos costos que la propia medida de prevención, corrección, mitigación o compensación acarrea. Por ejemplo, si se realiza una reforestación con especies introducidas en un área, puede haber efectos sobre la biodiversidad de la zona.

Los costos de seguridad se refieren a que se garantice que la medida siga funcionando por largo tiempo. Un ejemplo, los costos de conservación de cuencas para medidas que buscan suplir recursos hídricos afectados de un bosque.

Los costos de oportunidad son los beneficios sacrificados al implementar la medida. Por ejemplo, si se construyen terrazas en un área para mitigar el efecto erosivo de las lluvias, se reducirá el área de cultivo en la misma. Lo que se deja de producir por dicha reducción es el costo de oportunidad.

En la práctica, generalmente, se usan solo los costos de inversión, operación, mantenimiento y administrativos.

El indicador económico usado para valorar los costos de prevención, corrección, mitigación o compensación es el valor presente de los costos o valor actual de los costos, VPC ó VAC.

La ecuación general utilizada es:

$$VPC = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

(Ecuación 6.2)

Donde:



t son cada uno de los años de la medida;
n la vida útil en años de esta;
Ct los costos en cada uno de los años;
i la tasa de descuento o actualización para traer valores futuros al presente,
generalmente 12% en Venezuela y,
lo si se realizan una inversión en el año 0.

En caso de que quiera presentar el VPC por años se usa el Costo Anual Equivalente, CAE; así, las ecuaciones a utilizar son:

$$\text{CAE} = \text{VPC} * \text{FRC}$$

(Ecuación 6.3)

Donde FRC es el Factor de Recuperación de Capital, reseñado como:

$$\text{FRC} = \frac{\tilde{r}_1 + r\tilde{r}^{N*i}}{\tilde{r}_1 + r\tilde{r}^{N-1}}$$

(Ecuación 6.4)

Donde:

N es el número de años para lo cual se va a calcular el CAE, generalmente se toma como n;

r corresponde a la tasa que se quiere usar para el cálculo de CAE, generalmente se toma como i.

3.3. Costos de reemplazo

Es una variante de los métodos anteriores. Se refiere al costo de reemplazar o restaurar un determinado SE o la función que éste cumple. Se usa para estimar el valor del SE si éste va a ser impactado o dañado por una acción antrópica o natural. Por ejemplo, el costo de reemplazar el agua contaminada de un río por otra fuente de agua de mejor calidad. También el costo de reemplazar la disponibilidad de agua de una cuenca con otras fuentes de otras cuencas.

3.4. Costos de sustitución

Es una variedad del costo de reemplazo. Se refiere a los costos de sustituir la función de un SE por una infraestructura que cumpla la misma función. Por ejemplo, los costos de infraestructuras para controlar inundaciones se pueden tomar como un aproximado de la función del bosque de regular los flujos de agua de crecidas.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3.5. Costos de relocalización

También es una variedad del costo de reemplazo. Corresponde a los costos realizados para relocalizar generalmente las infraestructuras, bienes o servicios que pueden ser impactados o dañados por un evento relacionado con los SE. Por ejemplo, los costos de relocalizar una toma de agua potable hacia un área aguas arriba donde no ocurre alta sedimentación, se puede tomar como un aproximado de la función del bosque de controlar la erosión y la sedimentación.

3.6. Proyectos sombra

Es un tipo especial de técnica de costo de reemplazo. Se basa en la formulación de un proyecto hipotético que sustituiría los bienes y servicios ambientales que se perderían o disminuirían del SE. El costo del proyecto hipotético representaría el valor de la pérdida o disminución del SE. Generalmente se usa cuando:

- El SE es escaso y altamente valuado.
- La alternativa artificial de construcción humana proveerá la misma cantidad y calidad de los bienes y servicios que el ambiente natural.
- El nivel original del SE es deseable y en consecuencia debería preservarse.
- Los costos del proyecto sombra no exceden el valor del SE.

3.7. Costo eficiencia

La técnica de costo eficiencia es la que en muchos textos denominan técnica del costo mínimo. En esta técnica se fija un objetivo ambiental fijo a alcanzar, por ejemplo, la reducción anual de emisiones de carbono por el bosque, y se estima el costo de varias alternativas de tecnologías en el bosque para lograr dicho objetivo.

Para aplicar la técnica se ejecutan los siguientes pasos:

- Fijar el objetivo a lograr.
- Formular varias medidas alternativas para lograr el objetivo.
- Calcular los costos de inversión, operación, mantenimiento y administración de cada alternativa.
- Estimar el VPC y el CAE para cada alternativa.
- Dividir el CAE de cada alternativa entre el objetivo fijo a alcanzar. Esto será el costo eficiencia de la alternativa.
- Seleccionar el mejor costo eficiencia representado por la menor de ellas.
- Esta seleccionada representará el valor del SE.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Por ejemplo, un proyecto de reforestación con varias alternativas de material vegetal para almacenar carbono requiere además de los costos del proyecto, la estimación de la cantidad de carbono que cada una atrapa y almacena. Así, la que tenga menor CAE dividido entre la cantidad de carbono que atrapa y almacena anualmente cada alternativa, se considera la mejor.

Algunas palabras de caución sobre el uso de las técnicas basadas en costos

Aunque las técnicas basadas en costos no requieren de gran cantidad de datos y consumen menos tiempo, en algunos casos, con respecto a las técnicas que se van a describir a continuación, se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones para valorar los SE:

- *No siempre es válido el supuesto de que el valor del SE está representado por los costos de las técnicas antes descritas. Esto porque a lo mejor la sociedad no está dispuesta a pagar tales costos.*
- *Por otro lado, no existe seguridad de que los bienes y funciones de los SE van a estar completamente reemplazados o sustituidos por las infraestructuras propuestas en las técnicas.*

Sin embargo, se recomienda el uso de estas técnicas en el caso de que otras no se puedan usar por falta de información, o limitaciones de dinero y tiempo.

3.8. Técnica del costo de oportunidad

El costo de oportunidad refleja el costo de los beneficios sacrificados debido a que se decide tomar una política determinada. Por ejemplo, al conservar un bosque no se permite la actividad agrícola en el área. Los beneficios sacrificados derivados de la actividad agrícola representan el costo de oportunidad de decidir preservar el bosque.

Otro ejemplo puede ser que, al decidir proteger el agua de un manglar para conservar la biodiversidad en vez de usarla para riego, el beneficio sacrificado de la producción con riego representa el costo de oportunidad de la conservación del agua del manglar.

Un ejemplo adicional es el beneficio sacrificado de explotación maderera al aplicar un manejo de impacto mínimo.

Un requisito para aplicar la técnica es que exista una propuesta alternativa de usar el SE por parte de la sociedad. Es decir, que de verdad existan beneficios sacrificados.

3.9. Técnica de función de producción

Se aplica si existe una relación entre el SE y la producción de un bien mercadeable. Por ejemplo, el valor del agua de una zona se puede calcular por la contribución de esta para producir cultivos agrícolas. En otras palabras, se estima primero la relación entre la producción de un rubro agrícola con la cantidad de agua aplicada. Es decir, se estima cómo se incrementa la producción con respecto a la cantidad de agua suministrada. Al derivar la función se tiene el incremento de una unidad de producción por una unidad de agua.



Otro ejemplo, es la relación entre la cantidad de polinizadores con respecto a la producción de determinados rubros agrícolas. Asimismo, la cantidad de abejas con respecto a la producción de miel.

La principal limitación de aplicación de la técnica es la necesidad de conocer la función de producción.

3.10. Técnica de costo de enfermedades

Es similar a la técnica anterior, sin embargo, la función a conocer es la relación entre el número de casos de enfermedades con respecto a una característica del SE. Por ejemplo, si debido a la deforestación se incrementa el número de agentes causantes del dengue, la relación entre la superficie deforestada y los números de casos de dengue permite tener una idea del valor de la conservación del bosque.

Como el valor económico de cada caso de dengue se puede conocer al determinar los gastos en médicos, medicinas, hospitalización, días perdidos de trabajo entre otros, se puede estimar el valor de la conservación del bosque.

La principal limitación de aplicación de la técnica es la necesidad de conocer la función del costo de enfermedades.

3.11. Técnica del costo de viaje

Permite calcular el valor económico de un SE a partir de la población activa consumidora de actividades recreativas en el sitio de determinadas características ambientales. El método usa los costos económicos de gastos de las personas para ir y venir al sitio recreativo más el costo de oportunidad del tiempo de ida y vuelta para aproximar la Disposición A Pagar, DAP, por acceder a dicho sitio.

Para aplicar la técnica se deben realizar encuestas, individual o zonal que contienen:

- Variables de tipo socioeconómico
- Variables sobre gastos de viaje y valor del tiempo de los entrevistados
- Otras variables de importancia

Con respecto a las variables de tipo socioeconómico, se tiene que, si la encuesta es de tipo individual, se debe solicitar nivel de ingresos mensuales, edad, estado civil, nivel educativo y cualquier otra variable socioeconómica de importancia para el estudio. Si es a nivel de familia, se debe entrevistar al jefe de familia y solicitarle ingreso mensual familiar, número de integrantes de la familia con sus respectivas edades, niveles educativos, sexos y cualquier información que se considere importante para el estudio.

Se debe incluir un bloque de preguntas que permita calcular los gastos de los entrevistados para ir y venir al sitio de estudio. Entre estas pueden estar la distancia recorrida ida y vuelta, gastos de pasajes, gastos de hotel, gastos de comida, pago de tarifa de entrada. La estimación del costo



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



de oportunidad del tiempo se puede inferir a partir del salario del individuo o de las personas de la familia que devenguen un salario. Para esto se debe conocer el tiempo preciso para ir y venir al sitio.

Otras variables de importancia para la encuesta son: tipo de actividad recreativa preferida, sitios sustitutos con similares características (interesan los costos para ir y venir a los mismos), tiempo de estadía en el sitio, propósito de visita al sitio, percepción de la calidad ambiental del sitio, entre otras.

La técnica de costo de viaje zonal es la más usada. Consiste en aplicar una encuesta a los visitantes de un sitio de recreación donde la pregunta principal está relacionada con el tiempo y el dinero que han gastado viajando a dicho sitio, además se les pregunta el lugar de origen de donde han viajado, la distancia recorrida y otras variables como sitios sustitutos, ingresos, grado educativo, entre otras preguntas.

Las zonas de origen de los visitantes se definen en términos de distancia o de costo de viaje. Se asume que existe una relación inversa entre la frecuencia de visita al sitio y la distancia desde el sitio al lugar de origen. Si los demás factores se mantienen constantes, cuanto mayor sea el costo de viaje menos frecuencia y visitas habrá a un sitio.

Para aplicar la técnica de costo de viaje zonal se realizan los siguientes supuestos:

- Las personas se agrupan en zonas que se asumen tienen el mismo lugar de origen.
- Se supone que cada grupo de personas de las zonas tienen las mismas preferencias.
- Todas las personas van a reaccionar igual ante los incrementos de los costos de viaje que a un incremento de los costos de admisión al sitio de recreación.
- Si el costo es muy elevado, las personas no visitarán el sitio de recreación.

Los pasos generales de aplicación de la técnica son:

- Se revisa el libro de visitas del sitio de recreación para conocer los lugares de origen de los visitantes.
- Si no existe el libro, el lugar de origen se determina en la encuesta que se realiza.
- Conociendo el lugar de origen, se agrupan los visitantes en zonas.
- Cada zona tiene la misma distancia y tiempo de viaje al sitio de recreación.
- Se determina la proporción de visitantes de cada zona.
- Se determina el costo de viaje, usando el tiempo de ida y vuelta y la distancia. Hay que tener el costo del tiempo y el de la distancia.
- Se realiza una regresión entre el número de visitas y el costo de viaje.
- Se determina el número de visitas para distintos costos de viaje para cada zona.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Se calcula la curva de demanda agregada de todas las zonas.
- Se determina el excedente del consumidor, el cual será el área bajo la curva de demanda, por encima del costo de admisión, si este existe. Si no, éste será cero.

La principal limitación de la técnica es que para su aplicación el sitio a valorar, éste debe contar con demanda por visitantes.

3.12. Técnica de los precios hedónicos

Esta técnica relaciona el valor de las propiedades (viviendas, terrenos, granjas, fincas, entre otras) con un SE, como, por ejemplo, la belleza escénica. Las ecuaciones para utilizar presentan la siguiente forma:

$$Ph = fh (Sh, Nh, Xh)$$

(Ecuación 6.5)

Donde:

Ph es el precio de la vivienda

Sh son las características estructurales de la vivienda como superficie, número de baños, tamaño del jardín, número de cuartos, tamaño del garaje, entre otras.

Nh corresponden a las características del vecindario, número de comercios, número de colegios, distancia a centros comerciales, entre otras.

Xh son las características ambientales como la distancia a una belleza escénica, a parques, museos, entre otras.

Para estimar la función se realiza una regresión entre el precio observado de las viviendas y las características mencionadas. Se escogerá aquella función que tenga el mejor ajuste. La especificación de la función es un problema. Puede haber funciones lineales y no lineales.

Lo que interesa de la función es la derivada del Ph/Xh; es decir dPh/dXh , la cual indica cómo cambia el Ph debido a un cambio de la característica ambiental Xh.

Los pasos para aplicar el método son:

- Realizar la medición de un índice de la calidad ambiental o amenidad en el cual se está interesado
- Investigar los valores de las propiedades (derivados de datos cruzados o series históricas) así como características de las viviendas, vecindario y comunidad para un área de mercado bien definida que incluya viviendas con niveles distintos de calidad ambiental, o diferentes distancias a una amenidad tales como espacios de esparcimiento (espacios abiertos como parque) o las playas.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Analizar los datos usando análisis de regresión que relaciona el precio de la propiedad con sus características intrínsecas y la característica ambiental de interés. Así, se puede obtener los efectos de las distintas características sobre el precio de la propiedad.
- Los resultados de la regresión indican cuánto cambiarán los precios de las propiedades relacionado con pequeños cambios en cada característica, manteniendo constante todas las demás características.

Las principales limitaciones de aplicación de esta técnica son:

- *La dimensión del beneficio ambiental que puede ser medido está limitado a variables que están relacionadas a los precios de las propiedades.*
- *El método calcula la DAP por la gente que percibe diferencias de atributos ambientales y sus consecuencias directas. Si la gente no está consciente de la relación entre los atributos ambientales y los beneficios a ellos y a sus propiedades, el valor no será reflejado en el precio de las viviendas.*
- *El método asume que la gente tiene la oportunidad de seleccionar la combinación de atributos que ellos prefieren, dado su ingreso. Sin embargo, el mercado inmobiliario puede ser afectado por influencias externas como impuestos, tasas de interés u otros factores.*
- *Requiere de experticia estadística, por lo cual es relativamente complejo para implementar e interpretar.*
- *Los resultados dependen muy fuertemente sobre la especificación del modelo.*
- *Deben reunirse y manipularse gran cantidad de datos.*
- *El tiempo y el costo de aplicación depende de la disponibilidad y accesibilidad de los datos.*

3.13. Método de valoración contingente

El método de valoración contingente (MVC) usa un enfoque directo de valoración de los cambios en el bienestar ante modificaciones de un bien ambiental. El mecanismo utiliza instrumentos como encuestas, entrevistas, cuestionarios, etc. Uno de los mayores atractivos del MVC es obtener valoraciones que estén cerca de lo que aparecería si existiera un mercado real.

Es el único método disponible para estimar el valor económico total. Es decir, estimar también los valores de no uso.

Los pasos de aplicación de la técnica son:

- Identificación de los flujos de bienes y servicios del activo ambiental a valorar.
- Identificación de los tipos de valores generados por el activo ambiental.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Diseño de una encuesta.
- Estimación del tamaño de la muestra.
- Recolección de datos y procesamiento.
- Estimación de Medidas de Bienestar.

Las encuestas se estructuran de la siguiente manera:

- Primer bloque donde se expone información importante sobre el bien u objeto de estudio (identificar el SE).
- Segundo bloque en el cual se describe la modificación propuesta e impactos (dosis-respuesta), "vehículo de pago". Determinar la DAP
- Tercer bloque para conocer las características socioeconómicas del entrevistado

Los mecanismos de aplicación de las encuestas son:

- Entrevistas personales, las cuales permiten entregar información detallada, material visual, responder dudas, control del tiempo; los inconvenientes principales son el sesgo del entrevistador y el costo.
- Entrevistas telefónicas, las cuales son de bajo costo; sus limitaciones: imposible ayudas visuales e información detallada, reducido campo de aplicación.
- Encuestas por correo, estas son de bajo costo, se pueden usar ayudas visuales; sus desventajas es que no permite control en proceso de respuestas, ni aclarar dudas, ni realizar un proceso iterativo.
- Experimentos de laboratorio, los cuales permiten procesar información y realizar modificaciones necesarias; su principal inconveniente: difícil reunir grupo representativo.
- Encuestas por internet, son de bajo costo y se pueden responder preguntas y presentar información visual. El principal inconveniente es que no todo mundo cuenta con internet.

Los formatos de las preguntas de DAP pueden ser:

- Abierto: El Entrevistador espera la respuesta del monto que digan los entrevistados. Una gran desventaja es el elevado número de no respuestas (desconocimiento), así como el tamaño de la desviación de las respuestas.
- Subasta: "Punto de partida" y pregunta si \uparrow ó \downarrow hasta que entrevistado se "planta", es decir, se indica un monto, si el entrevistado dice si se sube el monto hasta que el entrevistado diga no. Si dice no al monto indicado, se baja este, hasta el momento que el entrevistado diga sí. El sesgo principal es el punto de partida con el cual inicia el entrevistador.
- Múltiple: se entrega un cuadro con cifras ordenadas y el entrevistado selecciona una. Su sesgo es el rango de cifras entregadas.



- Binario o referéndum: Se le pregunta si está la DAP en un monto. El entrevistado dice sí o no. El sesgo principal es el monto ofrecido.
- Iterativo: es una combinación del binario y el de subasta. Se pregunta primero la DAP por un monto. El entrevistado dice sí o no. Se calcula el valor. Si dijo sí, se sube el monto y se vuelve a preguntar sí o no. Al final se van a tener distintos valores de la mediana. El sesgo principal está asociado a los montos ofrecidos.

La técnica presenta varios sesgos, siendo los principales:

- Sesgo estratégico: el entrevistado dice que está de acuerdo con pagar por un nivel de un bien, pero da la respuesta para otro nivel. Dicho comportamiento busca influir sobre las respuestas de los otros entrevistados. El entrevistador debe buscar controlar esa situación.
- Sesgo del entrevistador: ocurre cuando el entrevistador presenta la información de una manera tal que influya en la DAP del entrevistado. Para controlar este sesgo, los entrevistadores deben recibir capacitación previa.
- Sesgo del planteamiento de la hipótesis: se corre el riesgo de que la DAP no sea la verdadera. Es propio del método este sesgo. Para controlarlo, se deben realizar la mayor cantidad de pruebas pilotos posibles.
- Sesgo del punto de partida o del monto ofrecido: es similar al anterior.

La estimación de la DAP por individuo u hogar encuestado se realiza calculando la media o la mediana de los montos investigados. Generalmente, se usa la mediana debido a que es una estimación más conservadora. Usualmente, el tipo de pregunta aplicado es la de referéndum.

En este tipo de pregunta se señala un monto y las personas responden sí o no. La hipótesis que subyace es que en la medida que aumenta el monto propuesto, la probabilidad de decir sí es menor.

La ecuación que se usa es:

$$\text{Prob sí} = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

(Ecuación 6.6)

Donde

$$Z = \beta_0 - \beta_1 \text{monto} + \beta_2 \text{ingresos} \dots \dots \dots \beta_n X_n$$

(Ecuación 6.7)

El valor de la mediana corresponde al punto donde la Prob. Sí es 0,5. Es decir donde Z es igual a 0.



A partir de ahí, el monto de la mediana es

$$\text{monto} = \frac{\beta_0 + \beta_2 \text{ingresos} \dots \beta_n X_n}{\beta_1}$$

(Ecuación 6.8)

El monto obtenido se multiplica por la población de donde se tomó la muestra. El resultado es el valor del SE valorado.

Las principales limitaciones del método son los sesgos arriba descritos.

3.14. Experimentos de selección (modelos de elección)

En los experimentos de elección se aplican encuestas para seleccionar entre diferentes alternativas o atributos de los SE. Se usa para calcular los valores monetarios y priorizar entre los atributos de los SE. Generalmente, se usa para seleccionar entre varias alternativas de manejo de un SE.

Por ejemplo, para un área protegida se presentan varios escenarios de manejo. Cada escenario, incluyendo la situación actual, posee varios atributos entre los cuales están la superficie a ser protegida, el número de plantas a proteger, el número de especies animales simbólicas presentes, el equipamiento turístico que ofrece, entre otros atributos. Cada escenario tiene asociado una DAP. A los encuestados se les pide seleccionar un escenario.

Los datos obtenidos se analizan econométricamente, determinando el valor marginal de cada atributo y el valor total del escenario, sumando los valores marginales de los atributos.

El método es muy útil cuando se quiere evaluar propuestas de escenarios de manejo de una determinada área a conservar. Para este tipo de caso, esta técnica es mejor que el uso de la valoración contingente, ya que los entrevistados pueden seleccionar entre los diferentes atributos y escenarios, en vez de un solo escenario, en donde no se observa la compensación existente entre los diferentes atributos.

La principal limitación del método es la cantidad "óptima" de atributos y escenarios a presentar a los entrevistados. Si es muy grande la entrevista puede ser compleja y si es muy pequeña se está forzando a los entrevistados a seleccionar entre aspectos que posiblemente no esté de acuerdo. Por otro lado, si el entrevistado no conoce los atributos, sus respuestas pueden estar sesgadas.

3.15. Transferencia de beneficios

En esta técnica se transfiere los resultados de valoración monetaria por otros estudios en otros sitios similares al sitio de interés que se quiere valorar. La transferencia de beneficios puede ser:

- Transferencia de valor: usa un valor único de un estudio primario relevante y lo transfiere al sitio de interés.
- Transferencia de función: transfiere una función relevante de un sitio similar al sitio de interés.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Análisis de metaregresión o metanálisis: usa distintas funciones de diversos estudios similares y las conjuga en una sola para el sitio de interés.

La técnica es muy apropiada cuando existen limitaciones de tiempo, dinero, información, experticia técnica para valorar un sitio de interés.

Las limitaciones principales de la técnica son la disponibilidad y selección apropiada de los estudios realizados en otros sitios para transferir al sitio de interés. Así mismo, la experiencia de los investigadores para aplicar el método y la precisión que se quiere para diferentes tomas de decisiones.

4. Selección preliminar de las técnicas de valoración económica de los SE priorizados en la RFI

Los principales factores que determinan la selección de una técnica de valoración son:

- El SE a valorar.
- El tipo de valor del SE (uso, no uso, opción).
- El propósito de la valoración.
- La disponibilidad y facilidad de acceso a los datos necesarios.
- Calidad de los datos.
- Limitaciones técnicas, tiempo y presupuesto.

Massiero y otros (2019), cita a Berghofer y otros (2015), para reseñar los diferentes propósitos generales de valorar económicamente los SE:

- Comparar diferentes alternativas de políticas, programas y proyectos.
- Identificar oportunidades de sustento, desarrollo y de inversión en una zona.
- Diseñar instrumentos económicos ambientales de políticas incluyendo incentivos, regulaciones, monitoreo y control.
- Identificar el estado actual de los SE en un dado contexto, cuáles son sus valores y usuarios involucrados; es decir, analizar la situación actual de los SE y sus valores.
- Incrementar la conciencia ambiental que pudiera conducir a recomendaciones de opciones de políticas de conservación.
- Ayudar a resolver conflictos ambientales.
- Valorar y evaluar los impactos de cambios de política sobre un área. Por ejemplo, valorar y evaluar cambios de política de uso de la tierra.

El propósito específico de valorar económicamente los SE de la RFI, se circunscribe en el marco



del proyecto GCP/VEN/011/GFF - Ordenación forestal sustentable y conservación de bosques bajo la perspectiva ecosocial, en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela: Componente 1 - Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF). Resultado 1.2 - Mejora del estado del conocimiento y valoración de la biodiversidad asociada a los bosques y áreas críticas de carbono, como estrategia a integrar en el manejo forestal mejorado a nivel de las unidades de manejo, mediante el desarrollo e inclusión de medidas de conservación de la biodiversidad forestal aplicadas en los planes de manejo forestal. Producto 1.2.3 - Conformación de una base de datos de bienes y productos de la biodiversidad y ecosistemas forestales, incluyendo productos maderables y no maderables y su uso múltiple por comunidades locales.

En tal sentido, los métodos a seleccionar deben "alimentar" la base de datos arriba mencionada, incluyendo, si la técnica lo requiere, la descripción ambiental de los SE priorizados como sus valores económicos.

Con base en los diferentes aspectos antes reseñados, la Tabla 6.1 presenta una selección preliminar de las técnicas de valoración recomendadas para los SE priorizados.

Tabla 6.1. Selección preliminar de técnicas de valoración para los SE priorizados de la RFI.

Categoría SE	Nombre SE	Tipo de valor	Técnica (s) preseleccionada (s)
Provisión	Madera	Valor de uso directo extractivo	Valores de mercado Transferencia de beneficios
Provisión	Productos forestales no madereros prospectivos	Valor de opción (quasi opción)	Valoración contingente Valores de mercado Transferencia de beneficios
Provisión	Agua	Valor de uso directo extractivo	Valores de mercado Costos de reemplazo Función de producción Transferencia de beneficios
Regulación	Atrape y almacenamiento de carbono	Valor de uso indirecto	Valores de mercado Transferencia de beneficios
Regulación	Regulación de los flujos de agua	Valor de uso indirecto	Costos de reemplazo Valoración contingente Transferencia de beneficios



Tabla 6.1. Selección preliminar de técnicas de valoración para los SE priorizados de la RFI (continuación)

Categoría SE	Nombre SE	Tipo de valor	Técnica (s) preseleccionada (s)
Regulación	Control de la erosión del suelo y sedimentación	Valor de uso indirecto	Costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación Costos de reemplazo Transferencia de beneficios
Regulación	Mantenimiento de la calidad del agua	Valor de uso indirecto	Costos de sustitución Costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación Valoración contingente Transferencia de beneficios
Regulación	Conservación de la biodiversidad	Valor de opción	Valoración contingente Costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación Transferencia de beneficios
Regulación	Conservación de especies en peligro de extinción	Valor de no uso legado	Valoración contingente Costos de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación Transferencia de beneficios
Culturales	Recreación y ecoturismo	Valor de uso directo no extractivo	Costos de viaje Valoración contingente Transferencia de beneficios
Culturales	Bellezas escénicas y paisajes	Valor de no uso existencia	Valoración contingente Transferencia de beneficios

Tabla 6.1. Selección preliminar de técnicas de valoración para los SE priorizados de la RFI (continuación)

Categoría SE	Nombre SE	Tipo de valor	Técnica (s) preseleccionada (s)
Culturales	Estudios e investigación	Valor de uso directo no extractivo	Valoración contingente Transferencia de beneficios
Culturales	Educación	Valor de uso directo no extractivo	Valoración contingente Transferencia de beneficios
Culturales	Herencia cultural por prácticas ancestrales de manejo de los bosques	Valor de no uso legado	Valoración contingente Transferencia de beneficios
Culturales	Preservación del idioma Kariña	Valor de no uso legado	Valoración contingente Transferencia de beneficios

5. Bibliografía

Ministerio del Ambiente. 2016. *Guía de valoración económica del patrimonio natural*. Lima. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Ministerio del Ambiente.

Masiero, M., Animon, I., Barua, S.K, Boscolo, M., Matta, J.R. y Pettenella, D. 2019. *Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers*. Rome, FAO. Forestry Working Paper No. 11.

MinAmbiente. 2018. *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental*. Oficina de negocios verdes y sostenibles. Bogotá, D.C. (Colombia). Ministerio del Ambiente. Gobierno de Colombia.

Freeman, A., Herriges, J. y Kling, C. 2014. *The measurement of environmental and resources values. Theory and methods*. Florida, USA. Third Edition. Resources for Future Press.

Pacha, M. 2014. *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones. Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía*. Brasil. Iniciativa Amazonía Viva. WWF.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 7

Valoración Económica del Servicio Ecosistémico Madera de la Reserva Forestal Imataca

Resumen

La madera es un servicio ecosistémico de provisión, correspondiente a un valor de uso directo extractivo. Conocer el valor económico de la madera es de gran importancia en la RFI, ya que permite tener conocimiento de uno de los principales activos del área; así como, tener orden de magnitud al momento de tomar decisiones de conservación de la Reserva.

Utilizando información de costos, así como los precios de venta en basa, proporcionados por la empresa Madera Bosco C.A. y de rendimiento en volumen en rolas derivados del inventario forestal de los compartimientos Santa María I y III y su distribución en maderas de alto, medio y bajo valor, se calculó el costo anual por superficie, beneficio anual por superficie y beneficio anual por superficie de la madera de la RFI.

Se determinó que los costos anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 684,00 USD/ha. Por otro lado, los beneficios anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 2 159,63 USD/ha. Finalmente, los beneficios netos anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 1 475,63 USD/ha.

Tomando en cuenta las limitaciones encontradas para realizar la valoración económica y la gran cantidad de supuestos asumidos, los valores de costos, beneficios y beneficios netos que se presentaron deben ser tomados como órdenes de magnitud.

Como recomendaciones se expuso actualizar la valoración económica de la madera realizada, cuando se cuente con más información de costos y beneficios en el área. Y usar los resultados para preformular políticas de aprovechamiento y conservación de la RFI.

1. Introducción

La madera es un servicio ecosistémico de provisión, correspondiente a un valor de uso directo extractivo.

Conocer el valor económico de la madera es de gran importancia en la RFI, ya que permite tener conocimiento de uno de los principales activos del área; así como, tener orden de magnitud al momento de tomar decisiones de conservación de la Reserva.

La Reserva Forestal Imataca presenta un alto potencial para la explotación de recursos forestales maderables. Berroterán (2003) clasificó 1 237 169 hectáreas de la RFI como muy aptas por su potencial forestal y a otras 1 199 327,02 como aptas. Entre ambas ocupan el 61% de la superficie total de la Reserva.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Por otra parte, en el Decreto 3 110 aparecido en Gaceta Oficial 38 028 de la República Bolivariana de Venezuela (2004), ordena varias zonas para la explotación forestal. De estas destacan por su alto potencial maderable la Zona de Manejo Forestal que ocupa 1 154 716,4 ha y la Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas con una superficie de 461 345,2 ha. Ambas suman el 43,1% de la Reserva.

En este orden de ideas, el presente capítulo muestra el valor económico de la madera de la RFI. El mismo, aunque se calculó usando precios de mercado, se asumió como valor económico, dada la dificultad actual de transformar precios de mercado a precios económico en el país.

Por otro lado, el valor obtenido se debe tomar como un orden de magnitud debido a la carencia de información en el área. Esto como consecuencia que una sola Empresa, Madera Bosco C.A, es la única que está explotando el recurso en la Reserva.

Tomando en cuenta la anterior limitación y la gran cantidad de supuestos para ejecutar la determinación, se encontró un beneficio anual de madera de 1 475,63 USD/ha.

El capítulo se inicia con la presente introducción, sigue con el marco teórico, continúa con la metodología y las limitaciones, luego los hallazgos y resultados y finaliza con las conclusiones y recomendaciones.

2. Marco teórico

2.1. Productos forestales maderables

IFLA (2017) indica que un producto forestal maderable es aquel que proviene de la vegetación forestal, principalmente de la parte leñosa de tallos y ramas de arbustos y árboles. La misma fuente indica que se clasifican en primarios, secundarios, productos de valor agregado y de alto valor agregado.

Las rolas y la leña pertenecen al primer grupo. La basa es cuando se les hace proceso a las rolas para su transporte y comercialización. La transformación de rolas a basa, generalmente, se estima un 40% de pérdida de madera. En el proyecto GCP/VEN/011/GFF, se contrató una Consultoría para el aprovechamiento de tales pérdidas.

2.2. Importancia del aprovechamiento de la madera en la RFI

Berroterán (2003) señala que la Reserva se creó para asegurar el abastecimiento permanente de materia prima a la industria del aserrío y a la demanda nacional de bienes y servicios forestales.

Por otro lado, en el marco del proyecto GCP /VEN/011/GFF (IFLA 2017), se indica el potencial de aprovechamiento maderero por las comunidades indígenas presentes en la Reserva (IFLA, 2017b)

2.3. La explotación de madera en Venezuela y en la Reserva Forestal Imataca

En Venezuela las áreas destinadas al patrimonio forestal ocupan 16 317 201,20 ha, de las cuales las reservas forestales abarcan 12 843 500,20 ha, un 79%. Para un período de tiempo entre 2006 al 2016, la producción de madera en rolas fue de 11 538 545,14 m³, para un promedio anual de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1 048 958,65 m³, el cual ha venido decreciendo. Para el año 2016, la producción fue de 658 397,98 m³. Para el año 2015, la producción de madera en rolas para las reservas forestales fue 67 838,01 m³ (IFLA, 2017a)

En lo que corresponde a la RFI, la producción de madera en rolas proveniente de la Unidad V, años 2013 al 2016, fue de 42 605,56 m³, de los cuales el 39,1% provino de la unidad de explotación Santa María I y el 60,9% de Santa María II. La especie más explotada fue el Mureillo, seguida de Purguo (IFLA, 2017). Las superficies de los compartimientos de ambas unidades de explotación son 2 741,25 y 3 575,92 hectáreas, para las unidades Santa María y II, respectivamente. Para el periodo analizado, el promedio anual sería de 10 651,39 m³, lo que representaría 1,69 m³/ha de explotación anual (IFLA, 2017a).

Revisando los inventarios de los Planes Forestales Operativos de las unidades Santa María I y Santa María III (MINEC-ENAFOR 2012 y 2016), el potencial de explotación anual de madera en rolas de ambas unidades, por compartimientos, son 7,15 y 7,01 m³/ha, lo cual representa un promedio de 7,08 m³/ha de potencial. Es decir, existe una subutilización del potencial forestal en la RFI.

De acuerdo con los inventarios mencionados anteriormente, se determinó que el 40,6% pertenece a madera de alto valor comercial, el 27,4% de medio valor comercial y el 32% de bajo valor comercial.

2.4. Valoración económica de la madera

La valoración económica de la madera se realiza generalmente usando la técnica de precios de mercado. Se orientan principalmente a análisis de costo beneficios (Bishop, 1999). Dependen mucho de la cantidad y calidad de información para derivar los costos y beneficios de la explotación de madera.

Cuando se usan precios de mercado para los costos y beneficios estos deben ser corregidos por los precios sombra para llevar los precios de mercado a precios económicos. Cuando no existen o es dificultoso obtener los precios económicos, se usan los precios de mercado como una primera aproximación del valor económico de la madera.

Generalmente, para el aprovechamiento forestal se calculan indicadores como el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno. Dado que en la presente determinación se calcularon los costos y beneficios anuales, no se detalla sobre ambos indicadores.

3. Metodología

La valoración económica del servicio ecosistémico Madera se supuso proviene de la comparación de los beneficios y costos por hectárea en la RFI. *Estos costos y beneficios, aunque son financieros, se asumieron como si fueran económicos, dada la situación económica del país que no permite transformar valores financieros a económicos.*



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Se asumió que estos estimados representan lo que ocurre en una unidad de superficie de la Reserva.

A continuación, se muestra la metodología seguida para la estimación de los costos y beneficios.

3.1. Costos anuales por superficie

Para la estimación de los costos se realizaron los siguientes supuestos:

La empresa que realiza la explotación y aprovechamiento de la madera, Madera Bosco C.A, sigue para su estructura de costos, las mismas actividades propuestas en los Planes Operativos Forestales propuestos para las áreas Santa María I y III de la RFI.

La estructura de costos presentada por la Empresa se puede extrapolar a las áreas de aprovechamiento y explotación de madera de la RFI.

Manteniendo un criterio conservador, se asumió que la Empresa puede explotar anualmente 9 000 metros cúbicos en rolas en un compartimiento de 2 500 hectáreas. Esto permitió basar los costos en una estructura de 3,6 m³/ha.

El dato anterior es fiable para la obtención del costo anual por hectárea, lo cual puede ser comparado con los correspondientes beneficios.

Los costos unitarios de cada actividad del Plan Operativo Forestal se asumen los más cercanos a la realidad para el año 2 019.

3.2. Beneficios anuales por superficie

Para la estimación de los beneficios anuales por superficie se asumieron las siguientes hipótesis:

- El rendimiento por superficie proviene del promedio propuesto para las Unidades Santa María I y III de la Unidad V de la RFI.
- Este rendimiento puede ser extrapolado a las superficies explotables de madera de la RFI.
- Los precios en basa de las maderas de alto, medio y bajo valor corresponden a 600, 500 y 400 USD/m³, respectivamente.
- Existe una pérdida de 40% al pasar de rola a basa la madera.
- Los porcentajes de cada categoría de madera por superficie son 40,6% para las de alto valor; 27,4% para las de medio valor y 32% para las de bajo valor.

3.3. Beneficios netos anuales por superficie

Habiendo estimado los beneficios y costos anuales por superficie, los beneficios netos provienen de la resta de ambos.



4. Limitaciones

La principal limitación encontrada fue la falta de información de los costos y beneficios actuales de la explotación y aprovechamiento de madera bajo el enfoque de Planes Operativos Forestales en la RFI. Existe solo una empresa explotando y aprovechando madera en la RFI: Madera Bosco C.A.

5. Hallazgos y resultados

5.1. Costos anuales

Se realizó la consulta personal con Madera Bosco C.A. sobre los costos actualizados, año 2019, sobre las distintas actividades si se sigue un Programa Forestal Operativo de la empresa antes mencionada.

Se usan tales costos, pues dicha empresa, es la única por el momento que está explotando madera en la RFI. La tabla 7.1 presenta dichos costos.

Tabla 7.1. Base de cálculo de los costos anuales.

COSTOS (Clase II: desviación de 20%) Descripción	Costo (USD)	C.U. (USD/ha)	C.U. (USD/M3)	Porcentaje
Inventario comercial del Plan Anual (censo del compartimiento) y muestreo pre y post aprovechamiento	90 000,00	36	10	5,3%
Vialidad primaria, secundaria y terciaria (ingeniería y Construcción)	135 000,00	54	15	7,9%
Construcción de Patios	72 000,00	28,8	8	4,2%
Tumba, desrame, roleo, arrastre, cubicación, carga y descarga, transporte interno	810 000,00	324	90	47,4%
Mantenimiento de infraestructura y vialidad (logística, materiales, equipos, combustible, lubricantes)	63 000,00	25,2	7	3,7%
Impuestos y autorizaciones (Ley de Timbre Fiscal, Ley de Bosques) guías de movilización y canges de guías	135 000,00	54	15	7,9%
Programa de Silvicultura (describir someramente) Recoleccion de semillas en el bosque, preparacion de la semilla, preparacion de vivero, plantacion, establecimiento de parcelas permanentes y evaluacion de plantaciones, Mejoramiento de la Masa forestal Remanente, establecimiento de parcelas permanentes MMFR y evaluacion	117 000,00	46,8	13	6,8%
Programa de Protección Forestal	81 000,00	32,4	9	4,7%
Programa de Investigación	99 000,00	39,6	11	5,8%
Costo de personal, funcionamiento y mantenimiento de la base de operaciones de la empresa (fracción)	108 000,00	43,2	12	6,3%
		684	190	100,0%

Fuente: Madera Bosco C.A

La tabla 7.2 muestra el resumen de los costos anuales.

Tabla 7.2. Resumen de Costos Anuales.

Descrpción	C.U. (USD/ha)
Inventario forestal	36,0
Vialidad primaria, secundaria y terciaria	54,0
Construcción de Infraestructura	28,8
Aprovechamiento (Tumba, desrame, roleo, arrastre, cubicación, carga y descarga, transporte interno)	324,0
Mantenimiento de infraestructura y equipos	25,2
Impuestos y autorizaciones (Ley de Timbre Fiscal, Ley de Bosques) guías de movilización y canges de guías	54,0
Programa de Silvicultura	46,8
Programa de Protección Forestal	32,4
Programa de Investigación	39,6
Personal, mantenimiento de base de operaciones	43,2
	684,0

Fuente: Madera Bosco C.A.

De lo anterior se estima entonces un costo unitario anual de 684,00 USD/ha. MINEC-ENAFOR (2012) muestra una estructura de costo de 1 286 500,00 USD para una superficie de 2 741,25 hectáreas. Esto daría un costo anual de 469,31 USD/ha. Por otro lado, Berroterán (2003) expone el capítulo 9 referido a *Aspectos de economía ambiental relativos a la Reserva Forestal Imataca*, realizado por Luís Morales e Ismael Hernández. En el mismo aparece un costo de 243,88 USD/ha, para un compartimiento de explotación de 3 800 hectáreas.

5.2. Beneficios anuales

La Tabla 7.3 muestra la base de estimación de beneficios anuales.

Tabla 7.3. Base para la estimación de beneficios anuales

Base para la estimación de beneficios											
Area	Superficie (ha)	Vol (m3)	Vol (m3/ha)	Prom STM I y III	Valoración Comercial	%	Distr STM I y III	Pérdida por conversión rola a basa (%)	Conversión rola a basa	Precios (USD/m3)	Beneficio (USD/ha)
STM I	2 741,25	19 602,63	7,15	7,08	Alto Valor	40,6	2,87	40,0	1,72	600	1 034,38
STM III	2 782,78	19 488	7,00		Medio Valor	27,4	1,94	40,0	1,16	500	581,73
					Bajo Valor	32,0	2,26	40,0	1,36	400	543,52
La costanera se vende											2 159,63

La tabla 7.4 muestra el resumen de los beneficios anuales en la RFI.

Tabla 7.4. Resumen de beneficios anuales de la madera en la RFI.

Volumen de Madera en Rola (m ³ /ha)	Valoración Comercial	Distribución de madera %	Volumen de Madera por Valor Comercial (m ³ /ha)	Precios de madera en rola (USD/m ³)	Ingresos (USD/ha)
7,08	Alto Valor	40,6	2,87	360	1 034,38
	Medio Valor	27,4	1,94	300	581,73
	Bajo Valor	32,0	2,26	240	543,52
					2 159,63

Los beneficios anuales están representados por los ingresos de 2 159,63 USD/ha.

5.3 Beneficios netos anuales

Los beneficios netos anuales vienen de la diferencia entre los ingresos anuales y los costos anuales ((2 159,63 – 684,00) USD/ha), es decir, 1 475,63 USD/ha. Por otro lado, Berroterán (2003) expone el capítulo 9 referido a *Aspectos de economía ambiental relativos a la Reserva Forestal Imataca*, realizado por Luís Morales e Ismael Hernández. En el mismo aparece un beneficio neto anual de 208,00 USD/ha, para un compartimiento de explotación de 3 800 hectáreas.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Tomando en cuenta las limitaciones encontradas para realizar la valoración económica y la gran cantidad de supuestos asumidos, los valores de costos, beneficios y beneficios netos que se presenta a continuación deben ser tomados como órdenes de magnitud.
- Los costos anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 684,00 USD/ha.
- Los beneficios anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 2 159,63 USD/ha
- Los beneficios netos anuales de explotación y aprovechamiento de la madera corresponden a 1 475,63 USD/ha.
- El volumen anual de aprovechamiento de la madera, 7,08 m³/ha, se estima válido, pues proviene de los inventarios forestales de las unidades de explotación Santa María I y III.

6.2. Recomendaciones

- Actualizar la valoración económica de la madera realizada, cuando se cuente con más información de costos y beneficios en el área.
- Usar los resultados para preformular políticas de aprovechamiento y conservación de la RFI.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



7. Bibliografía

Berroterán, J. 2003. *Reserva Forestal Imataca. Ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Dirección General de Planificación y Ordenación del Ambiente.

Bishop, J. (Ed.). 1999. *Valuing Forests: A Review of Methods and Applications in Developing Countries*. London. International Institute for Environment and Development.

IFLA. 2017a. *Caracterización del mercado de los productos forestales en Venezuela con énfasis en la producción de madera*. Informe presentado como parte del producto 3.2.3

Análisis de mercado y cadenas de valor de los principales productos forestales demandados y que afectan el bosque, y recomendaciones para ajustes de mercado y el diseño de estrategias para reducir las presiones sobre los bosques. Componente 3: Restauración, Conservación y Manejo Forestal Sustentable/ Manejo Sustentable de Tierras de Bosques en Zonas Afectadas por Procesos de Degradación. Proyecto Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques en la Perspectiva Ecosocial (GCP/VEN/011/GFF).

IFLA. 2017b. *Productos forestales maderables y no maderables con potencial a ser comercializados por las comunidades locales de la Reserva Forestal Imataca*. Informe presentado como parte del Producto 3.2.4 Planes Comunitarios de Comercialización de Productos Maderables y No Maderables implementados de acuerdo con el principio de Uso Múltiple. Componente 3: Restauración, Conservación y Manejo Forestal Sustentable/ Manejo Sustentable de Tierras de Bosques en Zonas Afectadas por Procesos de Degradación. Proyecto ordenación forestal sustentable y conservación de bosques en la perspectiva ecosocial (GCP/VEN/011/GFF).

Izko, X y D. Burneo. 2003. *Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenibles de los bosques sudamericanos*. UICN-Sur.

Ministerio Popular para el Ambiente - Empresa Nacional Forestal S.A. 2012. *Proyecto Forestal Imataca V. Bloque Santa María Unidad de Producción. Santa María I. Plan de Ordenación y Manejo Forestal Unidad Imataca V, Reserva Forestal Imataca*.

Ministerio Popular para el Ambiente - Empresa Nacional Forestal S.A. 2016. *Programa Forestal Operativo, Unidad de Producción Santa María III, Bloque Santa María, Unidad V, Reserva forestal Imataca*. ENAFOR, S.A.

República Bolivariana de Venezuela. 2004. Gaceta Oficial Número 38 028. Decreto 3 110. *Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la Reserva Forestal Imataca, estados Bolívar y Delta Amacuro*. Caracas.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 8

Valoración Ambiental y Económica de los Productos Forestales No Madereros Prospectivos de la Reserva Forestal Imataca

Resumen

Los Productos Forestales No Maderables, PFMN, son servicios ecosistémicos de provisión que se obtienen de los bosques distintos a la madera. En la RFI, los PFMN están compuestos primordialmente por artesanías, alimentos y aditivos alimentarios, medicinas, semilla y nueces, fibras, látex y resinas, forrajes, frutos, taninos y colorantes, ornamental y materiales de construcción.

La valoración económica de los PFMN prospectivos de la RFI es parte de la aplicación de un Protocolo para la valoración ambiental y económica de la Reserva, lo cual puede servir de base para justificar su conservación por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible, así como, la elaboración de incentivos económicos que apoyen dicha conservación.

Existe muy poca comercialización de los PFMN prospectivos de la RFI. Los de mayor potencial son semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje.

Utilizando el método de transferencia de beneficios se estimó el valor económico de la sarrapia y el aceite de copaiba de la RFI. Cuando se usa un precio por kilo de sarrapia en la RFI de 0,7 USD y, asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico de la sarrapia es 17,5 USD/ha al año. Si se usa un precio por litro de copaiba de 0,75 USD y, asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico del aceite de copaiba es 0,15 USD/ha al año.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los PFMN prospectivos de la RFI, tuvieron que ver con: no existen estudios de comercialización de los PFMN prospectivos en la RFI. La poca comercialización que existe de los PFMN prospectivos de la RFI es a nivel local. Las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas afectaron el acceso a más información. La escasez de gasolina contribuyó a reducir el acceso a más información. La explotación de productos como el látex en la Reserva ha disminuido progresivamente en el tiempo, siendo sustituido por productos sintéticos, por lo cual no hay información actualizada sobre su comercialización.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

Los productos forestales no maderables, PFNM, son servicios ecosistémicos de provisión que se obtienen de los bosques distintos a la madera.

La FAO (2014) señala que “son bienes de origen biológico distinto a la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles situados fuera del bosque”. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza los define como “Todos aquellos productos biológicos, excluida la madera, leña y carbón, que son extraídos de los bosques naturales para uso humano”.

Generalmente, los PFNM están representados por alimentos y bebidas, aceites esenciales y aromas, productos medicinales, estimulantes, resinas, colorantes y tintes, fibras, plantas ornamentales y semillas, entre otros.

Los PFNM tienen valor de uso directo, como lo expresado por IFLA (2017) que los clasifica en artesanías, alimentos y aditivos alimentarios, medicinas, semilla y nueces, fibras, látex y resinas, forrajes, frutos, taninos y colorantes, ornamental y materiales de construcción.

En la Reserva Forestal Imataca, RFI, existe gran infinidad de PFNM, tal como lo señaló Figueroa (2005 y 2010), Escalona (2015), IFLA (2016) e IFLA (2017). Ninguno de ellos, o muy pocos, son comercializados actualmente. Así como tampoco se conoce un inventario de estos para toda la RFI, solo en la Unidad V (Escalona, 2015).

Por otro lado, tampoco se ha realizado un estudio formal del tiempo de recolección de los PFNM en la RFI, a través del cual se pudiera usar como indicativo del costo de oportunidad para la valoración económica de estos.

Cuando se desconoce el valor de mercado de los PFNM, una metodología adecuada es la propuesta por Svarrer y Olsen (2005), basada en el costo de oportunidad del tiempo de recolección. Los autores arriba mencionados calcularon un valor promedio de PFNM de 40,7 USD/ha al año y 2 455 USD/vivienda al año.

Usando datos de Figueroa (2005) se puede indicar que el valor económico de los PFNM de la cuenca alta del río Botonamo es de 36,5 USD/ha al año.

Godoy y otros (1993) revisaron 24 estudios de valoración económica de PFNM y encontraron un valor promedio de 50,0 USD/ha al año.

Utilizando la cadena de valor de la semilla de sarrapia y aceite de copaiba explotados en el Bajo Caura, se estimó, usando la técnica de transferencia de beneficios, el valor de 17,5 USD/ha al año y 0,15 USD/ha al año, para ambos productos, respectivamente, en la RFI.

En este orden de ideas, para la valoración económica de los PFNM prospectivos de la RFI, este apartado se inicia con la presente introducción, continúa con el marco teórico, sigue con la descripción de la metodología, las limitaciones encontradas para realizar la valoración económica, los resultados y hallazgos y finaliza con las conclusiones y recomendaciones.

2. Marco teórico

En el marco teórico se van a tratar las metodologías de valoración económica de productos forestales no madereros. Estas se dividen en aquellas donde se desconoce el precio del mercado y aquellas donde se conoce el precio del mercado. Cuando se desconoce el precio del mercado los métodos más usados son el costo de oportunidad del tiempo y la valoración contingente. Una alternativa, cuando en la zona no se pueden aplicar ninguno de las técnicas antes enunciada, se usa la transferencia de beneficios.

2.1. Método del costo de oportunidad del tiempo de recolección

Cuando se desconoce el valor de mercado de los PFM, una metodología adecuada es la propuesta por Svarrer y Olsen (2005), basada en el costo de oportunidad del tiempo de recolección.

Las ecuaciones señaladas por ambos autores son:

$$V1 = \frac{a * l * d * t * w * h * p}{H}$$

(Ecuación 8.1)

$$V2 = a * l * d * t * w * p$$

(Ecuación 8.2)

Donde:

V2 es el valor del PFM por hectárea por año, y

V1 es el valor del PFM por vivienda por año.

Las variables son

a, la cantidad de adultos por vivienda;

l, las horas de trabajo productivas por día por adulto;

d, los días de trabajo por año por adulto;

t, la cantidad relativa del tiempo empleada para extraer el PFM (%);

w, el precio de la mano de obra no calificada rural, USD/hora;

h, el número de viviendas; p, el poder paritario de compra, precio cuenta de la mano de obra y,

H, el número de hectáreas usadas para extracción.

Los autores arriba mencionados calcularon un valor promedio de V1 de 40,7 USD/ha al año y V2 2 455 USD/vivienda al año, para a: 2,6 adultos por vivienda; l: 5,2 horas de trabajo productivo por día por adulto; d: 300 días de trabajo por año por adulto; t: 19,9% de tiempo relativo para extraer



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



el PFMN; w: 1,3 USD/hora de precio de la mano de obra rural no calificada; h: 257 viviendas; p: 2,34 factor de precio cuenta de la mano de obra rural y H: 15 500 hectáreas de área de extracción.

2.2. Método de valoración contingente

El Método de Valoración Contingente (MVC) usa un enfoque directo de valoración de los cambios en el bienestar ante modificaciones de un bien ambiental. El mecanismo utiliza instrumentos como encuestas, entrevistas y cuestionarios, entre otros. Uno de los mayores atractivos del MVC es obtener valoraciones que estén cerca de lo que aparecería si existiera un mercado real (Riera, 1994).

Es el único método disponible para estimar el valor económico total. Es decir, estimar también los valores de no uso y aquellos que no son materiales (OECD, 2018).

Los pasos generales de aplicación de la técnica son (Johnston y otros, 2017):

- Identificación de los flujos de bienes y servicios del activo ambiental a valorar.
- Identificación de los tipos de valores generados por el activo ambiental.
- Diseño de una encuesta.
- Estimación del tamaño de la muestra.
- Recolección de datos y procesamiento.
- Estimación de Medidas de Bienestar.

Las encuestas se estructuran de la siguiente manera (Cameron y Carson, 1989):

- Primer bloque: donde se expone información importante sobre el bien u objeto de estudio (identificar el SE).
- Segundo bloque: en el cual se describe la modificación propuesta e impactos (dosis-respuesta), "vehículo de pago". Determinar la Disposición A Pagar (DAP).
- Tercer bloque: estructurado para conocer las características socioeconómicas del entrevistado.

Los mecanismos de aplicación de las encuestas son (Riera, 1994 y OECD, 2018):

- Entrevistas personales, las cuales permiten entregar información detallada, material visual, responder dudas, control del tiempo. Los inconvenientes principales son el sesgo del entrevistador y el costo.
- Entrevistas telefónicas, las cuales son de bajo costo. Sus limitaciones: imposibles ayudas visuales e información detallada, reducido campo de aplicación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Encuestas por correo, estas son de bajo costo, se pueden usar ayudas visuales. Entre sus desventajas se tiene que no permite control en proceso de respuestas, ni aclarar dudas, ni realizar un proceso iterativo.
- Experimentos de laboratorio, los cuales permiten procesar información y realizar modificaciones necesarias. Su principal inconveniente es la dificultad para reunir un grupo representativo.
- Encuestas por internet, son de bajo costo y se pueden responder preguntas y presentar información visual. El principal inconveniente es que no todo mundo cuenta con internet.

Los formatos de las preguntas de DAP pueden ser (MinAmbiente, 2018):

- Abierto: El Entrevistador espera la respuesta del monto que digan los entrevistados. Una gran desventaja es el elevado número de no respuestas (desconocimiento), así como el tamaño de la desviación de las respuestas.
- Subasta: "Punto de partida" y pregunta Sí \uparrow ó \downarrow hasta que entrevistado se "planta", es decir, se indica un monto, si el entrevistado dice si se sube el monto hasta que el entrevistado diga No. Si dice No al monto indicado, se baja éste, hasta el momento en que el entrevistado diga Sí. El sesgo principal es el punto de partida con el cual inicia el entrevistador.
- Múltiple: se entrega un cuadro con cifras ordenadas y el entrevistado selecciona una. Su sesgo es el rango de cifras entregadas.
- Binario o *referéndum*: Se le pregunta si está la DAP en un monto. El entrevistado dice Sí o No. El sesgo principal es el monto ofrecido.
- Iterativo: es una combinación del binario y el de subasta. Se pregunta primero la DAP por un monto. El entrevistado dice Sí o No. Se calcula el valor. Si dijo Sí, se sube el monto y se vuelve a preguntar Sí o No. Al final se van a tener distintos valores de la mediana. El sesgo principal está asociado a los montos ofrecidos.

La técnica presenta varios sesgos (Cameron y Carson, 1989), siendo los principales:

- Sesgo estratégico: el entrevistado dice que está de acuerdo con pagar por un nivel de un bien, pero da la respuesta para otro nivel. Dicho comportamiento busca influir sobre las respuestas de los otros entrevistados. El entrevistador debe buscar controlar esa situación.
- Sesgo del entrevistador: ocurre cuando el entrevistador presenta la información de una manera tal que influya en la DAP del entrevistado. Para controlar este sesgo, los entrevistadores deben recibir capacitación previa.
- Sesgo del planteamiento de la hipótesis: se corre el riesgo que la DAP no sea la verdadera. Este sesgo es propio del método. Para controlarlo, se debe realizar la mayor cantidad de pruebas piloto posibles.



- Sesgo del punto de partida o del monto ofrecido: es similar al anterior.

La estimación de la DAP por individuo u hogar encuestado se realiza calculando la media o la mediana de los montos investigados. Generalmente, se usa la mediana debido a que es una estimación más conservadora. Usualmente, el tipo de pregunta aplicado es la de referéndum.

En este tipo de pregunta se señala un monto y las personas responden Sí o No. La hipótesis que subyace es que en la medida que aumenta el monto propuesto, la probabilidad de decir Sí es menor.

La ecuación que se usa es:

$$\text{Prob Sí} = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (\text{Ecuación 8.3})$$

Donde:

$$Z = \beta_0 - \beta_1 \text{monto} + \beta_2 \text{ingresos} \dots \beta_n X_n \quad (\text{Ecuación 8.4})$$

El valor de la mediana corresponde al punto donde la Probabilidad Sí es 0,5. Es decir donde Z es igual a 0.

A partir de ahí, el monto de la mediana es

$$\text{monto} = \frac{\beta_0 + \beta_2 \text{ingresos} \dots \beta_n X_n}{\beta_1} \quad (\text{Ecuación 8.5})$$

El monto obtenido se multiplica por la población de donde se tomó la muestra. El resultado es el valor del SE valorado.

Figueroa (2005) presentó el trabajo *Valoración de los productos forestales no maderables en la Reserva Forestal Imataca, bajo el enfoque de la metodología ecológica: caso de estudio cuenca alta del río Botanamo, estado de Bolívar, Venezuela*. Los objetivos del trabajo fueron:

- Colectar e identificar las especies arbóreas en la cuenca alta del río Botanamo usadas como productos forestales no maderables (PFNM), enumerando sus usos.
- Seleccionar las especies arbóreas utilizadas como medicinales en el área de estudio, del conjunto de PFNM identificado.
- Valorar los árboles con usos medicinales en el área de estudio, desde la perspectiva de la sostenibilidad.
- Proponer lineamientos para un modelo de gestión que haga posible el desarrollo sostenible desde lo local.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El servicio ecosistémico valorado es de provisión de productos forestales no maderables medicinales provenientes de la cuenca alta del río Botanamo. El método de valoración usado fue valoración contingente tipo *referéndum* aplicado a hombres y mujeres mayores de 18 años ubicados aledaños a la cuenca alta del río Botanamo. Se entrevistaron en 2004 a hombres y mujeres de la parroquia Sifontes (Tumeremo) por ser los principales beneficiarios potenciales más inmediatos del servicio a valorar.

Se entrevistaron 310 familias, proporcionando un valor medio mensual de Disposición A Pagar (DAP) de 15 025 VEF por familia (6,99 USD/familia). Este valor representa la DAP media por familia para que se protejan y desarrollen los bosques de la RFI, de tal manera de que éstos les aseguren la permanencia de árboles con propiedades medicinales en la cuenca alta del río Botanamo.

Si se toma en cuenta que la superficie de la cuenca alta del río Botanamo es 25 556 hectáreas, que la población de Tumeremo es 50 082 habitantes, existen 4,5 habitantes por familia, entonces el valor económico de los PFNM medicinales de la cuenca alta del río Botanamo son 36,5 USD/ha al año.

2.3. Método usando precios de mercado

Godoy y otros (1993) revisaron 24 estudios de valoración económica de PFNM y encontraron un valor promedio de 50,0 USD/ha al año.

Godoy y otros (1993) emplean la ecuación siguiente para valorar económicamente a los PFNM, cuando se conocen el valor del mercado, la cantidad extraída de PFNM y los costos de extracción.

$$V = \sum_{i=1}^n Q_i * P_i - C_i \quad (\text{Ecuación 8.6})$$

Donde:

V es el valor del PFNM;

Q_i es la cantidad extraída de un determinado PFNM;

P_i es el precio a como lo vende el extractor del PFNM al intermediario y,

C_i los costos incurridos por el extractor del PFNM.

Para que exista eficiencia económica $Q_i * P_i = Q_i * C_i$; es decir que el P_i debe ser al menos igual al C_i.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2.4. Método de transferencia de beneficios

La transferencia de beneficios no es un método de valoración como tal; sin embargo, permite utilizar los resultados de la valoración económica ambiental de un caso previo, con el objetivo de valorar un bien o servicio de interés en otro caso. Bajo esta técnica, los valores que se obtienen dependen de la metodología que se utilizó en el estudio de valoración de base. La transferencia de beneficios puede utilizar como referencia uno o más estudios, a partir de promedios de varios resultados anteriores y ajustando con funciones de metaregresiones los valores al caso específico, si es el caso (Osorio, 2006).

Para obtener valores confiables y representativos se requiere que el estudio de base utilizado sea de muy buena calidad en términos de la robustez de los modelos utilizados y sus resultados, así como en la robustez de la información utilizada; que el bien o servicio ecosistémico evaluado sea el mismo que se quiere valorar en el nuevo estudio y las condiciones socioeconómicas y ambientales sean comparables entre ambos casos (Ruiz y otros, 2011)

Para garantizar una correcta aplicación de la metodología de transferencia de beneficios se deben aplicar los siguientes pasos previos al inicio de la aplicación: 1) se debe definir el sitio de intervención a evaluar, el bien o servicio ecosistémico a valorar y la población de interés; 2) identificar los estudios potenciales y relevantes para el caso; 3) evaluar su aplicabilidad consiguiendo el cumplimiento de las siguientes características: alta calidad en sus estimaciones; similitud en características propias del estudio tales como población, área geográfica, calidad del recurso a valorar, variables socioeconómicas, tamaño del mercado del bien o servicio ambiental y asignación de los derechos de propiedad. Finalmente, una vez revisado lo anterior, se procede a la estimación de los beneficios (Plummer, 2009).

Recomendaciones para la aplicación del método de Transferencia de Beneficios (Osorio, 2006):

- Se debe asegurar que el estudio de valoración utilizado para la transferencia de beneficios es de buena calidad.
- El estudio utilizado para la transferencia de beneficios debe haber evaluado un servicio ecosistémico similar o preferiblemente el mismo, que el estudio que se quiere realizar.
- Las características ecosistémicas, ecológicas y socio-económicas deben ser comparables en los dos estudios.

La transferencia de beneficios utilizando la función son más confiables, siempre cuando estas existan, que la transferencia de valores.

3. Metodología

La figura 8.1 presenta la metodología utilizada para valorar ambiental y económicamente los Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI.

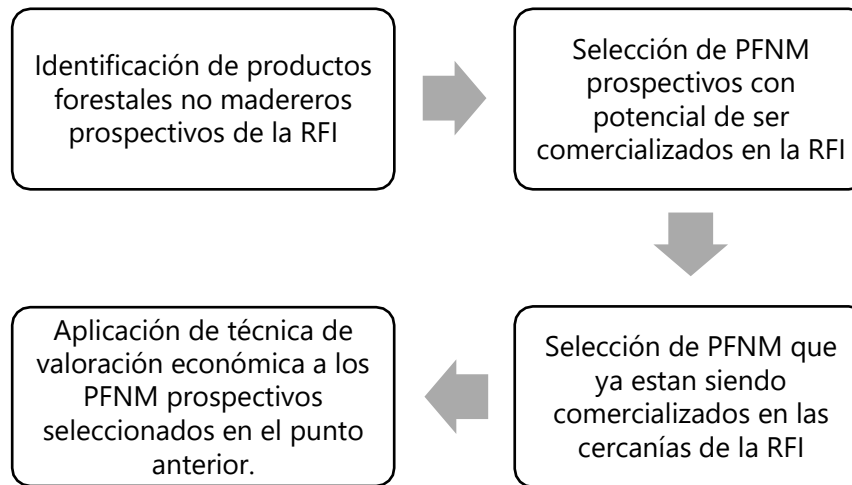


Figura 8.1. Metodología para la valoración ambiental y económica de los PFNM prospectivos de la RFI.

Identificación de Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI

La identificación de los Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI se ejecutó usando revisión bibliográfica sobre los últimos inventarios de éstos. Dada la gran cantidad de especies de PFNM potencialmente a ser comercializados, se realizó una preselección usando estudios recientes.

Selección de PFNM prospectivos con potencial de ser comercializados en la RFI

La selección de los PFNM prospectivos con potencial de ser comercializados se realizó usando un estudio reciente.

Selección de PFNM que ya están siendo comercializados en las cercanías de la RFI

Tomando en cuenta la baja comercialización de los PFNM prospectivos en la RFI, se seleccionaron algunos presentes en la lista anterior, que ya están siendo comercializados en las cercanías de la Reserva. Esto con la finalidad de obtener los datos necesarios a ser extrapolados al área de la RFI.

Aplicación de técnica de valoración económica a los PFNM prospectivos seleccionados en el punto anterior

Usando los datos del punto anterior, se aplicó la técnica de transferencia de beneficios para valorar los PFNM prospectivos seleccionados en el punto anterior.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Limitaciones

- No existen estudios de comercialización de los PFMN prospectivos en la RFI.
- La poca comercialización que existe de los PFMN prospectivos de la RFI es a nivel local.
- Las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas afectaron el acceso a más información.
- La escasez de gasolina contribuyó a reducir el acceso a más información.
- La explotación de productos como el látex en la Reserva ha disminuido progresivamente en el tiempo, siendo sustituido por productos sintéticos, por lo cual no hay información actualizada sobre su comercialización.

5. Hallazgos y resultados

5.1. Identificación de Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI

IFLA (2017) con base a un informe de IFLA (2015) identifica los Productos Forestales No Madereros prospectivos de la RFI. El anexo 8.1 presenta el listado de los PFMN prospectivos identificados.

Por otro lado, IFLA (2017) realiza una preselección del listado del anexo 8.1. La tabla 8.1 tomada de IFLA (2017) muestra la preselección.

Tabla 8.1. PFMN prospectivos preseleccionados en la Unidad V por su potencial a ser comercializados.

PFNM	ESPECIE USADA				
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	ESPECIE	PARTE USADA
Categoría – Latex y Resinas					
Latex	Purgo	<i>Manilkara Bidentata</i>	Sapotaceae	Manilkara bidentata	tronco
Categoría – Medicinal- Cosmética					
Aceite de palo	Palo de aceite	<i>Copaifera officinalis</i>	Leguminosa e	Copaifera officinalis	Tronco
Aceite Andiroba	Carapa	<i>Carapa guianensis Aubl</i>	Meliaceae	Carapa guianensis	Semilla
Aceite de seje	Palma Seje	<i>Oenocarpus bataua Mart</i>	Arecaceae	O. bataua. Mart	Semilla
Categoría – Medicinal					
Corteza	Uña Gato	<i>Uncaria guianensis (Aubl.) J.F. Gmel.</i>	Rubiaceae	Uncaria tomentosa	Corteza
Categoría Alimentos- Esencias					
Extracto o esencia	Sarrapia	<i>Dipteryx odorata (Aubl.) Willd.</i>	Leguminosa e	<i>Dipteryx Odorata</i>	Semilla
Categoría Alimentos- Frutos					
Fruto fresco (consumo alimenticio)	Palma manaca, acaí	<i>Euterpe precatoria Mart.</i>	Arecaceae	Euterpe precatoria	Fruto
Categoría Alimentos					
Miel de Abejas					
Categoría – Semillas					
Semilla seca (para la extracción de aceite)	Carapa	<i>Carapa guianensis Aubl</i>	Meliaceae	Carapa guianensis	Semilla
Semilla seca (a ser usado industrialmente)	Sarrapia	<i>Dipteryx Odorata (Aubl.) Willd.</i>	Leguminosa e	Coumarouna punctata	Semilla
Semilla (a ser usada industrialmente)	Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	Leguminosa e		Semilla
Semillas forestales	Algarrobo Sarrapia Carapa Purgo				Semilla
Categoría - Ornamentales					

PFNM	ESPECIE USADA				
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	ESPECIE	PARTE USADA
ornamentales/ Flores	Heliconia	Heliconia latispatha	Heliconiaceae	Heliconia latispatha. Benth	Flor, planta
Categoría Fibras - Artesanía					
Cestería	Bejuco alambrito	<i>Smilax Siphilitica</i> Humb. & Bonpl. Ex Willd.	Smilacaceae	S. aspera	
	Mamure	<i>Heteropsis Flexuosa</i> (Kunth) G.S.Buntin	Araceae	<i>Heteropsis Flexuosa</i> (Kunth) G.S.Buntin	
CATEGORIA GENERAL					
Ecoturismo Científico y de aventuras					

Fuente: IFLA, 2017.

5.2. Selección de PFNM prospectivos con potencial de ser comercializados en la RFI

IFLA (2017) usando criterios de ámbitos y subámbitos seleccionó a 10 PFNM prospectivos con potencial a ser comercializados en la RFI. La tabla 8.2 muestra los ámbitos y sub ámbitos usados como criterios para la selección de PFNM prospectivos a ser comercializados en la RFI.

Tabla 8.2 Criterios de selección de PFNM prospectivos a ser comercializados en la RFI

Ámbitos	Subámbitos
Ambiental	Afectación de cursos de agua
	Afectación a los suelos
	Afectación a la fauna
	Afectación a la flora
Económico	Riesgo a la explotación intensiva
	Demanda del producto en el mercado local, regional y nacional
	Demanda del producto en el mercado internacional
	Competitividad frente a productos sustitutos
	Existencia de canales de comercialización



Tabla 8.2 Criterios de selección de PFM prospectivos a ser comercializados en la RFI (continuación).

Ámbitos	Subámbitos
Social	Participación del grupo familiar/comunidad
	Relación del aprovechamiento con los usos y tradiciones de la comunidad local
Tecnológico	Generación y/o aumento del ingreso familiar de las comunidades locales
	Requerimiento de conocimientos adicionales por parte de las comunidades locales para realizar el aprovechamiento y procesamiento del PFM.
	Grado de procesamiento requerido
	Grado de inversión requerido para el aprovechamiento y procesamiento del PFM.
	Riesgo de deterioro del producto

Fuente: IFLA, 2017.

Utilizando una escala de valores para los criterios, se seleccionaron aquellos PFM que para su aprovechamiento y procesamiento generan menor afectación al ambiente, mayor beneficio económico y social, y menor requerimiento de inversión y tecnología. La tabla 8.3 presenta los PFM prospectivos seleccionados.

Tabla 8.3. PFM prospectivos seleccionados.

Jerarquía	PFM prospectivo
1	Semilla de Carapa
2	Cestería
3	Semilla de Sarrapia
4	Uña de gato
5	Miel de abejas
6	Aceite de Andirroba
7	Esencia de Sarrapia
8	Plantas ornamentales
9	Aceite de Copaiba
10	Aceite de Seje

Fuente: IFLA, 2017.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



5.3. Selección de PFSM que ya están siendo comercializados en las cercanías de la RFI

Tomando en cuenta que es muy poca la comercialización de los PFSM prospectivos seleccionados en la RFI, se seleccionaron dos de ellos que ya están siendo comercializados en las cercanías de la RFI.

Debido a dichas limitaciones, se va a realizar la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFSM de la RFI.

Ambas especies se escogieron por las siguientes razones:

- Son seleccionadas, entre las 10 primeras especies de PFSM, como potenciales a ser comercializadas por las comunidades locales en la RFI (IFLA, 2017).
- Se conoce la cadena de valor de ambas especies, en una zona cercana a la RFI, el Bajo Caura (Reserva Forestal El Caura o Parque Nacional El Caura), estado Bolívar (Jiménez, 2015). En tal sentido, se pueden extrapolar los cálculos de la valoración un área a la otra. Es decir, realizar la aplicación de la metodología de transferencia de beneficios

5.4 Aplicación de técnica de valoración económica a los PFSM prospectivos seleccionados en el punto anterior

5.4.1 Aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFSM de la RFI

Para el caso presente, se va a ejecutar transfiriendo los valores de mercado usando la cadena de valor de ambas especies obtenidas por Jiménez (2015) en la zona del Bajo Caura (Reserva Forestal El Caura o Parque Nacional El Caura).

Cadenas de valor de la sarrapia y del aceite de copaiba en el Bajo Caura

Una cadena de valor es un sistema económico con una secuencia de actividades comerciales interrelacionadas que comienza con el suministro de insumos específicos, para un producto determinado, sigue con la producción primaria, la transformación, la comercialización y la venta al consumidor final (Jiménez, 2015).

La cadena de valor de la sarrapia tiene 4 fases: Precosecha, cosecha, postcosecha y comercialización.

Jiménez (2015) describe las fases de la siguiente manera: La precosecha incluye actividades de monitoreo de sarrapiales en el Área de Conservación Suapure, observando principalmente el comportamiento de la floración y fructificación entre los meses de septiembre a enero, el mantenimiento de las picas sarrapieras y la negociación del precio a pagar a los recolectores.

La cosecha implica las campañas recolectoras organizadas por familias de la comunidad y por los patrulleros del área de conservación, el apilado de los frutos, posterior pisado manual



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



(fractura del fruto con martillo) para la extracción de la almendra, secado de las almendras y su traslado desde el bosque a la comunidad en canoas.

La postcosecha consiste en secar las almendras en el interior de las casas de los recolectores y su acopio en sacos.

La comercialización la hacen directamente los recolectores al Centro de Acopio de la A.C. Afrodescendientes y/o a los comisionados de Cerbatana, C.A. y a mayoristas en los mercados de Ciudad Bolívar, Caicara y Puerto Ayacucho. Tanto el centro de acopio como los intermediarios venden a Cerbatana, cumpliendo una cadena de custodia que certifica la sostenibilidad y calidad del producto y ésta se encarga de su comercialización en grandes volúmenes en mercados de exportación. El centro de acopio también vende a clientes especializados en distribuir al mercado gourmet y medicinal a nivel nacional.

Al igual que la sarrapia, la cadena de valor del aceite de copaiba tiene 4 fases: Precosecha, cosecha, postcosecha y comercialización.

La precosecha incluye actividades de identificación de árboles de copaiba sin perforar en el Área de Conservación Suapure y la negociación del precio a pagar a los recolectores.

La cosecha implica las campañas recolectoras organizadas por familias de la comunidad y por los patrulleros del área de conservación, la perforación de árboles con barrenos manuales, su resinado en botellas plásticas reusadas, colocado de tapón y traslado del aceite crudo desde el bosque a la comunidad en canoas, llevando registro de cantidad de árboles perforados, su diámetro, altura del fuste y ubicación georeferenciada con GPS.

La postcosecha consiste en recibir lo colectado en el Centro de Acopio, filtrarlo con tela fina y envasarlo en pequeños barriles plásticos con capacidad entre 20 a 60 litros, llevando registro de la cantidad producida, fecha y recolectores.

La comercialización la hacen directamente los recolectores al Centro de Acopio de la A.C. Afrodescendientes o a particulares de la comunidad y pueblos cercanos (por colectores particulares para uso medicinal). El centro de acopio vende a Cerbatana, cumpliendo una cadena de custodia que certifica la sostenibilidad y calidad del producto y ésta se encarga de su comercialización en grandes volúmenes en mercados de exportación. El centro de acopio también vende a clientes especializados en distribuir al mercado medicinal a nivel nacional.

5.4.2. Supuestos para la aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFSM de la RFI.

- El estudio de valoración utilizado para la transferencia de beneficios (Jiménez, 2015) es de buena calidad.
- Las características ecosistémicas, ecológicas y socio-económicas del Bajo Caura (Reserva Forestal El Caura) son similares a las de la Reserva Forestal Imataca.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Los costos de recolección de la sarrapia y del aceite de copaiba representan el valor económico de ambas especies en su medio natural.
- Los valores en dólares de los costos de recolección se mantienen iguales para la presente fecha.
- Los datos de producción de ambas especies son similares para el Bajo Caura y la RFI.
- Los valores de producción corresponden a los valores mínimos o promedios.
- Cualquier otro dato de interés para la valoración económica son semejantes para ambas zonas.
- La sarrapia y el aceite de copaiba se extraen primordialmente del bosque húmedo tropical.

5.4.3. Datos para la aplicación de la técnica de transferencia de beneficios para la valoración económica de la sarrapia (*Dipteryx Odorata*) y el aceite de copaiba (*Copaifera officinalis*) como exponentes de los PFM de la RFI.

Sarrapia

- La abundancia aproximada de sarrapia es de 30 árboles por hectárea. La extensión explotada es de 6 000 hectáreas. Es decir, 0,5% árbol/hectárea.
- Un hombre puede recolectar diariamente 10 kg de fruta de sarrapia.
- El precio pagado al recolector es 0,7 USD/kg de almendra de sarrapia.
- El potencial productivo del Bajo Caura es 150 000 Kg/año; es decir, 25 Kg/ha al año, aproximadamente.
- Los costos estimados para una campaña de 14 días, para 6 personas son 178,54 USD. Es decir, 2,13 USD/persona al día.

Aceite de Copaiba

- El precio pagado al recolector por litro de Copaiba es 0,75 USD/l.
- Los costos por una campaña de recolección de 7 días para 4 personas son 178,4 USD; es decir, 2,8 USD/persona al día.
- La densidad promedio de árbol explotable por hectárea es de 0,27 árbol/hectárea.
- La producción promedio de resina por árbol es de 0,25 a 2 litros. Se han observado comúnmente 0,75 l/árbol al año.



5.4.4. Valor económico de la sarrapia en la RFI

Para valorar económicamente la sarrapia se usó la siguiente ecuación:

$$V_s = PP * p * S$$

(Ecuación 8.7)

Donde:

V_s es el valor económico de la sarrapia.

PP es el potencial productivo de sarrapia (Kg/ha/año);

p el precio USD/kg y

S la superficie a explotar (La superficie de bosque húmedo tropical de la RFI es 2 385 997,24 hectáreas para el año 2018).

Si PP es 25 Kg/ha/año; p es 0,7 USD/kg y S es 2 385 997,24 hectáreas; entonces V es 41 754 951,7 USD/año, lo cual corresponde a 17,5 USD/ha al año.

5.4.5. Valor económico del aceite de copaiba en la RFI

Para valorar económicamente el aceite de copaiba se usó la siguiente ecuación:

$$V_{ac} = Pa * d * p * S$$

(Ecuación 8.8)

Donde:

V_{ac} es el valor económico del aceite de copaiba en la RFI.

Pa es la producción promedio por árbol de resina por año (l/árbol/año);

d es la densidad promedio de árboles de aceite de copaiba (árbol/hectárea);

p es el precio pagado por el aceite de copaiba (USD/litro) y

S es la superficie de bosque húmedo tropical de la RFI, contabilizada en 2 385 997,24 ha para el año 2018).

Si Pa es 0,75 l/árbol; d es 0,27 árbol/ha; p es 0,75 USD/l y S 2 385 997,24 ha; entonces V_{ac} es 362 377,33 USD/año, lo cual corresponde a 0,15 USD/ha al año.

5.4.6. Observaciones respecto al precio de la Sarrapia y el Aceite de Copaiba

Jiménez (2015) indica en el estudio de cadena de valor, que el precio pagado a los recolectores es muy bajo y no compensan los costos de recolección. Señala que para el 2004 el precio de la almendra de sarrapia fue entre 7 a 23 EUR/kg en el mercado europeo; mientras que, para el



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



aceite de copaiba, año 2010, en Brasil se pagó entre 1,7 a 22,5 USD/l, y, en Perú aproximadamente 6,5 USD/l.

En Venezuela se vende a nivel de mercado el Kg de sarrapia alrededor de 6 USD/kg. Similar precio promedio del aceite de copaiba, 6 USD/l.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Los PFNM prospectivos de la RFI están compuestos primordialmente por artesanías, alimentos y aditivos alimentarios, medicinas, semilla y nueces, fibras, látex y resinas, forrajes, frutos, taninos y colorantes, ornamental y materiales de construcción.
- Existe muy poca comercialización de los PFNM prospectivos de la RFI.
- Los PFNM prospectivos con mayor potencial de comercialización son: semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje.
- En las cercanías de la RFI, Parque Nacional El Caura, se comercializan las semillas de Sarrapia y el aceite de Copaiba.
- En Venezuela se vende a nivel de mercado el Kg de semilla de sarrapia alrededor de 6 USD/kg. Similar precio promedio del aceite de copaiba, 6 USD/l. En Europa el precio de semilla de sarrapia oscila entre 7 a 23 EUR. Mientras el litro de aceite de copaiba en Perú es 6,5 USD.
- Usando un precio por kilo de sarrapia en la RFI de 0,7 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico de la sarrapia es 17,5 USD/ha al año.
- Usando un precio por litro de copaiba de 0,75 USD y asumiendo la presencia de esta en el bosque húmedo tropical de la Reserva, el valor económico del aceite de copaiba es 0,15 USD/ha al año.
- Estudios realizados en otras latitudes, usando la técnica del costo de oportunidad del tiempo, señalan un valor de los PFNM de 40,7 USD/ha al año.
- Aplicando la técnica de valoración contingente se encontró un valor de 36,5 USD/ha al año.
- Usando la técnica de precios de mercado, en la revisión de diferentes estudios, se encontró un valor promedio de 50 USD/ha al año.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6.2. Recomendaciones

- Formular proyectos de aprovechamiento de semillas de carapa, los que sirven para cestería, semilla de sarrapia, uña de gato, miel de abeja, aceite de andirroba, esencia de sarrapia, plantas ornamentales, aceite de copaiba y aceite de seje en la RFI, estimando sus costos y beneficios para conocer su viabilidad económica.
- Impulsar el aprovechamiento regional, nacional y local de los PFMN prospectivos arriba mencionados.
- Aplicar la técnica de costo de oportunidad del tiempo para el cálculo del valor económico de la semilla de sarrapia y el aceite de copaiba en la RFI.

7. Bibliografía

Cameron, R. y Carson, R. 1989. *Using survey to value public goods: the contingent valuation method. Resources for the future*. Washington, D.C. USA.

Escalona, R. 2015. *Inventario de productos forestales no maderables (PFNM) en la unidad de producción Santa María III, Imataca V. Reserva Forestal Imataca*. (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

FAO. 2009. *La situación de los bosques del mundo 2009*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia.

FAO. 2014. *Estado de los bosques en el mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia.

Figuerola, J. 2005. *Valoración de los productos forestales no maderables, PFMN, en la Reserva Forestal Imataca, bajo el enfoque de la economía ecológica: caso de estudio cuenca alta del río Botanamo, estado Bolívar, Venezuela*. (Tesis doctoral). Universidad de la Laguna. España.

Figuerola, J. 2010. *Árboles utilizados como productos forestales no maderables en la cuenca alta del río Botanamo, estado Bolívar, Venezuela*. Acta Botánica, Venezuela.

Godoy, R., Lubowski, R. y Markandya, N. 1993. *A method for the economic valuation of non timber tropical forest products*. Economy Botany. New York.

IFLA. 2017. *Productos forestales maderables y no maderables con potencial de ser comercializados por las comunidades locales de la Reserva Forestal Imataca. Anexo C3-5*. Proyecto Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques en la Perspectiva Ecosocial. GCP/VEN/011/GFF.

IFLA. 2016. *Identificación y caracterización de los productos forestales no maderables de la unidad V de la Reserva Forestal Imataca*. Puerto Ordaz. IFLA.

Jiménez, L. 2015. *Análisis de la cadena de valor de la sarrapia y el aceite de copaiba en el Bajo Caura, área de conservación Suapure, Venezuela, bajo la metodología Values Links de GTZ*. Phynatura. Venezuela.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Johnston, R., Boyle, K., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T., Hanemann, W., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R. y Vossler, C. 2017. *Contemporary guidance for stated preference studies*. JAERE. Volume 4, number 2.

Minambiente. 2018. *Guía de Aplicación de la Valoración Económica Ambiental*. Bogotá, D.C. Colombia. Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.

OECD. 2018. *Cost benefits analysis and the environment. Further development and policy use*. Chapter 4. Contingent valuation method. OECD.

Osorio, J. 2006. *El método de transferencia de beneficios para la valoración económica de servicios ambientales: estado del arte y aplicaciones*. Universidad de Medellín, Colombia.

Ruiz, C., Bello, C., Londoño, M., Alterio, H., Urbina, J., Buitrago, A., Gualdrón, J., Olaya, M., Cadena, C., Zarate, M., Polanco, H., Urciollo, F., Arjona, F. y Rodríguez, J. 2011. *Protocolo para la valoración económica de los servicios ecosistémicos en los Andes colombianos a través del método de transferencia de beneficios*. Conservación Internacional Colombia. Colombia.

Svarrer, K y Olsen, C.S. *The economic value of non-timber forest products. A case study from Malasya*. Journal of Sustainable Forestry.

Anexo 8.1. Lista de PFM prospectivos presentes en la Unidad V de la RFI

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	TIPOS DE USO	PARTE USADA
Purgo	<i>Manilkara bidentata</i> (A.Dc.) A.Chev.	Sapotaceae	Al, Fo, Col, Fib, Art, Me	Madera, corteza, hojas, raíces.
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	Leguminosae	Al, Fo, Fib, Art, Me	Corteza, fruto, semillas, madera
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	Al, Fo, Fib,Art,Me	Fruto, semillas, corteza, madera, hojas, raíces.
Pilón rosado	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Mimosaceae	Fo, Col, Fib- Art, Me	
Araguaney	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Bignoniaceae	Fib, Art, Me, Or	Corteza, hojas, flores y raíces
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Malvaceae	Fib-Art,Me, Or	Tronco, madera, corteza, hojas, ramas, frutos, tallo
Yagrumo	<i>Cecropia peltata</i>	Urticaceae	Fo, Fib-Art, Me	Corteza, hojas, raíces, tallos y el fruto
Chaparro Manteco	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	Al, Fo,Me, Or	Corteza, fruto, semillas, hojas, madera
Carapa	<i>Carapa guianensis Aubl</i>	Meliaceae	Fo, Fib-Art, Me	Semilla, corteza, madera, hojas
Moriche	<i>Mauritia flexuosa L.f</i>	Arecaceae	Al, Fo,Fib,Art	Fruta, corteza, hojas, semillas, tallo, cogollos
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata L</i>	Meliaceae	Fo, Fib-Art, Me	Corteza, hojas, madera, semillas
Cuji	<i>Acacia macracantha</i>	Leguminosae	Fo,Fib-Art, Me	
Guamo	<i>Inga sp.</i>	Leguminosae	Al, Fo,Fib,Art	
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Al, Fo,Col, Me	
Mandingo	<i>Aspidosperma excelsum</i>	Proteaceae	Fib, Art,Me, Or	
Cañafistola	<i>Cassia moschata</i>	Leguminosae	Fo, Fib, Art, Me	Tallo y semilla
Caramacate	<i>Piranhea longepedunculata</i>	Picrodendraceae	Fo, Fib,Art, Me	
Zapatero	<i>Peltogyne floribunda</i>	Leguminosae	Al, Fo,Fib,Art	Corteza, semillas

Corozo	<i>Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart</i>	Arecaceae	Fo, Fib-Art	Frutos
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	Al, Ar, Me	Madera, hojas, fruto, cascara
Sarrapia	<i>Dipteryx Odorata (Aubl.) Willd.</i>	Leguminosae	Fib-Art, Me	Semilla
Merey	<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	Al, Fo, Me	
Pardillo	<i>Cordia alliodora</i>	Cordiaceae	Fib-Art, Me	
Sipuede	<i>Gynerium sagittatum</i>	Poaceae	Fo, Fib-Art	
Caraño	<i>Protium asperum</i>	Burseraceae	Fib-Art, Me	
Dividive	<i>Caesalpinia coriaria</i>	Leguminosae	Fo, Col, Me	
Palo de aceite	<i>Copaifera officinalis</i>	Leguminosae	Fib-Art, Me	
Merecure	<i>Licania pyrifolia</i>	Chrysobalanaceae	Al, Fo, Me	
Quebracho	<i>Schinopsis lorentzii</i>	Mimosaceae	Fo, Col, Me	
Caro montañero	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	Fo, Fib, Art	
Caruto	<i>Genipa americana L</i>	Rubiaceae	Al, Fo, Col	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae	Al, Fo, Me	
Yarayara amarilla	<i>Anaxagorea cf. dolichocarpa</i>	Annonaceae	Fo, Fib-Art, Me	
Guanábana	<i>Annona muricata L.</i>	Annonaceae		
Chaparrillo	<i>Davila Nitida (Vahl) Kubitzki</i>	Dilleniaceae	M, A	Tallo
Hala pa tras bejuco corona de cristo	<i>Smilax oblongata Sw</i>	Smilacaceae	A, M	
Palma manaca, acai	<i>Euterpe Precatoria Mart.</i>	Arecaceae	A, Ali	Semilla
Palma cucurito	<i>Attalea maripa (Aubl.) Mart.</i>	Arecaceae	Art, Ali	
Almendro	<i>Caryocar Pallidum A.C. Sm</i>	Caryocaraceae	A, Ali	Semilla
Onoto	<i>Bixaceae</i>	Bixaceae	Col, Me	
Merecurillo	<i>Licania subarachnophylla</i>	Chrysobalanaceae	Al, Fo	
Pata de danto	<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae	Fib-Art,	

Cartán	<i>Centrolobium paraense</i>	Leguminosae	Fib-Art	Tallo
Mahomo	<i>Prunus mahaleb</i> L	Leguminosae	Fib-Art	
Puneral sabanero	<i>Casearia spinescens</i>	Flacourtiaceae	Me, Or	
Cereza	<i>Malpighia glabra</i>	Malpighiaceae	Al, Fo	
Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	Fib-Art	
Pendanga	<i>Campomanesia aromatica</i>	Myrtaceae	Al, Fo	
Aceituno	<i>Olea europaea</i> L	Opiliaceae	Al, Fo	
Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Sapindaceae	Al, Fo	
Chupón	<i>Pouteria do</i>	Sapotaceae	Al, Fo	
Mureillo	<i>Croton colombianus</i>	Vochysiaceae	Fib-Art	
Baramán	<i>Catostemma commune</i>	Bombacaceae	Fib-Art	
Saqui	<i>Pachira quinata</i>	Malvaceae	Fib-Art	
Sangre Drago	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Leguminosae	Col, Me	
Coroba	<i>Attalea butyracea</i>	Arecaceae	Al, Fo	
Conserva	<i>Trichilia pallida</i>	Meliaceae	Al, Me	
Puy	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Bignoniaceae	Me, Or	Corteza
Calaguala	<i>Campyloneurum aglaolepis</i>	Polypodiaceae	M	Toda la planta
Yagua	<i>Attalea butyracea</i>	Arecaceae	Fo	
Bejuco de agua	<i>Cissus verticillata</i>	Vitaceae	M	Tallo
Alambrito	<i>Smilax aspera</i>	Smilacaceae	M	Tallo
Cadeno	<i>Bauhinia guianensis</i>	Leguminosae	M	Tallo
Guaco	<i>Aristolochia elegans</i>	Aristolochiaceae		
Mamure	<i>Heteropsis spruceana</i>	Araceae	A	Tallo
Uña Gato	<i>Uncaria tomentosa</i>	Rubiaceae	M	Tallo
Caña La India	<i>Costus allenii</i>	Zingiberaceae	M	Tallo
Heliconia	<i>Heliconia latispatha</i>	Heliconiaceae	A	Fruto, Hojas
Palma maripa	<i>Attalea maripa</i>	Arecaceae	A	Hojas
Palma seje	<i>Oenocarpus bataua</i>	Arecaceae	A	Hojas

Camuare	<i>Desmoncus orthacanthos</i>	Arecaceae	A	Tallo
Tampico	<i>Couratari multiflora</i>	Lecythidaceae	Me	
Caicareño	<i>Clathrotropis brachypetala</i>	Leguminosae	M	
Capa Tabaco	<i>Couratari guianensis</i>	Lecythidaceae	M	Corteza
Cuajo	<i>Virola sebifera</i>	Myristicaceae	M	Raíz, Corteza
Jebe	<i>Lonchocarpus sp</i>	Leguminosae	M	
Majagua	<i>Sterculia pruriens</i>	Sterculiaceae	M	Corteza
Majaguillo	<i>Eschweilera subglandulosa</i>	Lecythidaceae	M	Raíz, Corteza
Maro	<i>Trattinnickia rhoifolia</i>	Burseraceae	M	Resina, Corteza
Tacamahaca	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	M	Corteza
Maramo	<i>Copaifera pubiflora</i>	Leguminosae	M	Resina
Fruta de burro	<i>Xylopia aromatica</i>	Annonaceae	Me	
Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	Me	
Pata de vaca	<i>Bauhinia grandiflora</i>	Leguminosae	Me	
Chaparro	<i>Curatella americana</i>	Dilleniaceae	Me	
Sangrito	<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Me	
Guayabillo	<i>Maprounea guianensis</i>	Euphorbiaceae		
Tampipio	<i>Couratari multiflora</i>	Lecythidaceae	Me	Corteza
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	Al	
Crucita real	<i>Strychnos fendleri</i>	Loganiaceae	Me	
Quina	<i>Angostura trifoliata</i>	Rutaceae	Me	
Mapurite	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	Rutaceae	Me	Hojas
Capure	<i>Pouteria venosa</i>	Sapotaceae	Al	
Bejuco de agua	<i>Dolichocarpus dentatus</i>	Dilleniaceae	M	Tallo
Cangilon	<i>Aspidosperma sp</i>	Apocynaceae	M, Art	

Fuente: Modificado de IFLA(2015)



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 9

Valoración Ambiental y Económica de los Servicios Ecosistémicos Rendimiento Hídrico y Regulación de los Flujos de Aguas en la Reserva Forestal Imataca

Resumen

Los rendimientos hídricos y la regulación de los flujos de agua son dos de los principales servicios ecosistémicos brindados por la Reserva Forestal Imataca.

Valorar ambientalmente y económicamente ambos es de suma importancia. Sin embargo, la falta de información para el segundo imposibilita dicha valoración.

Para valorar ambientalmente el rendimiento hídrico se recurrió a la revisión de bases de datos disponibles en estaciones en tierras reportadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), así como de los aportes recientes efectuados por el país en su Segunda Comunicación ante el Cambio Climático, procediendo a un análisis y adaptación a las condiciones históricas observadas por las estaciones en tierra. Por otro lado, se observaron igualmente datos de mediciones hidrométricas en tres estaciones ubicadas dentro y cercanas al área de estudio. Sin embargo, se determinó que los periodos de registros son muy cortos 1976-77-1983-84 (6-7 años) para realizar, a partir de los mismos, estimaciones concluyentes del rendimiento en el área de estudio.

Como consecuencia de lo anterior, se propuso y desarrolla una marcha metodológica que observa tanto las estimaciones a nivel local para la Reserva, como aquellas propuestas de simulación a nivel nacional y mundial para los diferentes parámetros que requiera la estimación de la Precipitación Media (P_{media}) y sus distribución espacial; la Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), la Evapotranspiración Potencial (ETP), y los requeridos por el algoritmo de cálculo del rendimiento anual utilizado.

Para la estimación de los campos de precipitación promedio a emplear, se revisaron las tendencias históricas asincrónicas, que permitieron observar la distribución espacial de la misma registradas en algún momento por estaciones operativas o no. Esto dio una idea de la posible distribución espacial histórica.

Luego de observar los campos asincrónicos, se determinaron datos de precipitación para periodos comunes desde 1971 hasta el año 2000. Esto se realizó con la finalidad de comparar aquellos resultados obtenidos del ensamble de los modelos Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5, utilizados en la Segunda Comunicación de Cambio Climático del país. Luego de comparar el ensamble, se ajustó el mismo a los resultados históricos observados para las estaciones en tierra. Se observó que, los resultados representan de manera significativa, las tendencias espaciales de precipitación representada por los mapas asincrónicos para la RFI. En la cual, se visualizan, centros



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



de tormenta al Noreste y Suroeste de la Reserva, así como una zona central de baja precipitación. El valor medio anual de la misma para la RFI es de 1 803 mm/año.

Para la estimación de la ETo, se recurrió a las mediciones históricas en tierra, a partir de tres estaciones, Upata (3994), Tumeremo-Aeropuerto (4974) y Anacoco (5911), las cuales cuentan con suficientes datos para realizar la estimación de la ETo mediante la expresión de Penman-Monteith. Se utilizó el Software de libre uso desarrollado por la FAO, denominado Eto-Calculator V 3.2. Así pues, debido a que también se disponían de simulaciones de campos de temperatura a partir de los modelos Eta-MIROC5 y Eta-HadGEM2-ES, éstos se utilizaron y se adaptaron igualmente a los valores históricos observados para la RFI.

Los campos de temperatura, se utilizaron como insumo base para la estimación de la ETo a partir de la expresión de Hamon, la cual, usa solo campos de temperatura y de latitud para efectuar las estimaciones de ETo. Esta expresión se propuso igualmente en el software HydroBID que la considera adecuada para la estimación de ETo.

Sin embargo, debido a que se puede mejorar la estimación de la Eto mediante correlaciones de las estaciones de referencia ya mencionadas, se procedió a las estimaciones de dichas correlaciones, observándose que las mismas obtiene coeficientes de determinación (r^2) superiores a 0,90, considerados buenos. Con base en lo anterior, se obtuvieron entonces campos de ETo equivalentes a Penman-Monteith (PM) para toda la RFI, realizando adicionalmente un pequeño ajuste de tipo logístico para la posición del píxel en latitud. Esto permitió una representación mucho más fiel de la transformación a ETo-PM.

Los valores de ETo obtenidos para la RFI (1 609 mm/año), se compararon con fuentes de datos internacionales, encontrándose que solo difieren en un 4%, de aquellos reportados por Trabucco y Zommer del año 2018, y calculados para la RFI en 1 673 mm/año.

Con la finalidad de transformar la Eto a ETP, se estimaron los valores cultivo de referencia mediante tres vías: a partir de coberturas obtenidas de la base de datos AHDDTool, mediante respuesta espectral promedio a partir de datos de Índice de Diferencia de Vegetación Normalizados (NVDI) y asignando valores de Kc para las diferentes coberturas, a partir del levantamiento, procesamiento en interpretación de imágenes LandSat, con resolución de píxel de 30mx30m para los años 2000 y 2018 y clasificadas según el IPCC del año 2004.

Se realizó igualmente un análisis con base en índices de sequías propuestos en la literatura y se aplicaron al dominio de la RFI. Se demostró que existe una zona central de bosque que pudiera estar sometida a menor rendimiento debido a las restricciones climáticas y aquellas bien definidas al Noreste y Suroeste que son de mayor producción.

Una vez definidos los parámetros necesarios, se utilizó el modelo InVEST V. 3.2.8, como software de apoyo para estimar la distribución espacial del rendimiento. InVEST a su vez, determinó el rendimiento anual mediante la expresión de Budyko del año 1974.

Se subdividió la RFI en 13 subcuencas en acorde con el componente Recursos Hídricos que forma parte de la asesoría que se realiza para la FAO. A estas se les determinó el rendimiento hídrico,



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



observando los contrastes en rendimiento para cada una, tanto para el año 2000 como para el 2018. El cambio, o disminución de coberturas incidió en una menor evapotranspiración potencial a su vez un aumento del rendimiento anual.

Se comenta que un aumento en el rendimiento anual por disminución de K_c , no quiere decir necesariamente que la condición hídrica para las subcuencas mejore, al contrario, aumenta el rendimiento en flujos rápidos que ocasionan aumentos tanto en la producción de sedimentos y flujos que dejan de infiltrar, perturbándose la oferta hídrica en épocas de estiaje o verano, los cuales son indispensable para el desarrollo y provisión del mismo para usos tales como provisión de agua potable, sostenimiento de actividades agropecuarias y mantenimientos de hábitats, entre otros.

Se destacó la alta sensibilidad que tienen los leves cambios de uso en las diferentes subcuencas, resaltándose la alta elasticidad o sensibilidad que tiene el mismo a leves cambios en las coberturas. Así pues, para las zonas húmedas, un cambio porcentual de coberturas de 1% tiene una elasticidad en el rendimiento (Y) de 2,3% y para zonas de menor precipitación y valores de $RH-Y$ que oscilan entre 5% a 6%.

Finalmente, se determinó la influencia de los cambios porcentuales de coberturas en el dominio de la RFI, observándose valores en el mismo orden de magnitud de los arriba señalados. Los valores diferenciales de rendimiento para cada cobertura, permitió aplicar metodologías de valoración económica del RH mediante varios enfoques de cálculo. Se encontró que:

- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Venezuela de VES 17 para el año 2018, corresponde a 0,019; 0,015; 0,001; 0,004; 0,009 y 0,008 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Colombia de 33 156 pesos, para el año 2018, corresponde a 71,09; 55,78; 5,45; 15,93; 32,86 y 29,87 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Perú de 4,15 soles, para el año 2018, corresponde a 8,58; 6,73; 0,66; 1,92; 3,97 y 3,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Sánchez (2005) corresponde a 6,58; 5,16; 0,5; 1,47; 3,04 y 2,76 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Aylward y otros (2010) corresponde a 77,40; 60,73; 5,93; 17,34; 35,78 y 32,52 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a asentamientos humanos, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 74,87; 91,54; 146,33; 134,92; 116,49 y 119,75 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a minería, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 109,73; 126,40; 181,20; 169,78; 151,35 y 154,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.

De acuerdo con las limitaciones encontradas se recomendó reinstalar el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos. Usar la consideración de los valores encontrados como referencia para futuras investigaciones que impliquen levantamientos de información primaria en campo. Efectuar estudios para la valoración de las aguas subterráneas en los macizos cristalinos a encontrar en la RFI. Realizar un estudio similar usando escenarios de cambio climático. Ampliar la aplicación de la valoración económica del rendimiento hídrico usando métodos de conservación de las cuencas. Reaplicar el método de contraprestación por aprovechamiento usando una Unidad Tributaria para Venezuela más acorde con la economía real del país.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

Los servicios ecosistémicos de rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua corresponden a SE de provisión y regulación, respectivamente. Asimismo, se relacionan con valores de uso directo extractivo y valor de uso indirecto.

La valoración de ambos SE es de alto interés para la nación venezolana, debido a que, ayudará a establecer los órdenes de magnitud del valor de áreas de conservación, relacionada con los recursos hídricos, en eventuales negociaciones que tendrá el Estado Venezolano, en ámbitos nacionales e internacionales, con base prima en la conservación de sus recursos bajo criterios de sostenibilidad ambiental.

Uno de los principales aspectos que se sigue discutiendo, es el papel de las Reservas Forestales, en la provisión del recurso hídrico. Al respecto, el trabajo planteado enfoca este aspecto con base en la información disponible a nivel histórico local, regional y mundial y en los planteamientos contemporáneos realizados para el país.

Desde el punto de vista metodológico, se realiza la valoración ambiental y económica del rendimiento hídrico de la RFI. La regulación de los flujos de agua no se valora desde el punto de vista económico pues no existe información suficiente sobre su valoración ambiental.

Para la valoración ambiental, se recurre al levantamiento de las bases de datos hidrometeorológicas históricas disponibles; y de simulación a escala locales (*DownScaling*) realizadas en la II Comunicación de Venezuela sobre Cambio Climático (MINEA, 2017), mediante el ensamble de los modelos Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5. Se observan las simulaciones realizadas para la RFI con especial interés en aquellas de máximas y mínimas espaciales de precipitación. Así pues, con la finalidad de reproducir esas tendencias históricas espaciales observadas se busca adaptar las simulaciones de precipitación y temperatura para la RFI.

La estimación de la ETo en la RFI, se realiza mediante la ecuación de Penman Monteith (Allen *et al.*, 1998). Esta estimación en todo el dominio estudiado se efectúa mediante la transformación de valores de ETo a partir de la expresión de Hamon, que aprovecha los campos de temperatura extraídos y ajustados del ensamble de las simulaciones en *downscaling*, y se transforman a equivalentes Penman Monteith (PM) mediante correlaciones obtenidas a partir de datos históricos de las estaciones en tierra.

Con la finalidad de validar los órdenes de magnitud encontrados, se busca comparar con valores mundiales de ETo. En este sentido, se utilizan los propuestos por Trabucco y Zomer (2018) para investigar la incertidumbre asociada.

Los valores de cultivo de referencia (Kc) requeridos para la obtención de la ETP, se obtienen del levantamiento de las coberturas de la Reserva mediante imágenes LANDSAT a una resolución de píxel de 30mx30m. Esto se realiza para los años 2000 y 2018. Igualmente se revisan las propuestas contemporáneas para la obtención de valores de cultivo de referencia mediante sensores remotos, tales como; la relación con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



realizada por Cuesta *et al.* (2005), entre otras y su correlación con Kc para establecer órdenes de magnitud de los valores encontrados mediante diferentes enfoques.

Igualmente, aprovechando que se dispone de la base datos ADHTool de HydroBID, de la cual se obtienen parámetros importantes tales como Contenido de Agua Disponible (AWC) y coberturas estandarizadas para subcuencas de un tamaño medio de 90 km², estos valores se utilizan en el balance hídrico que se desarrolla a nivel anual que se requieren para apoyar la expresión de Budyko (1974) propuesta igualmente por Williams *et al.* (2012), Zang *et al.* (2012) conceptualizado en InVEST V 3.2.8 (Sharp *et al.*, 2018), módulo Annual Water Yield, WY InVEST.

La expresión de Budyko en InVEST, ha sido ampliamente utilizada para estimación de rendimiento en zonas forestales; Lovera *et al.* (2018) y Gáspari *et al.* (2015) en Argentina, Cárdenas (2016) en Colombia, para la valoración de servicios ecosistémicos en el corredor amazónico trinacional Colombia, Ecuador y Perú; Pacha (2014) y Recalde (2018) en Ecuador; entre otros, y que sirve de base para la simulación de escenarios y la obtención de los valores de rendimiento hídrico (RH-Y) de la RFI.

Debido a que se dispone de una conceptualización de subcuencas de interés para toda la RFI, los valores encontrados de rendimiento hídrico, se reportan para la RFI y cada una de las subcuencas. Destacándose los diferentes grados de producción anual de las mismas.

De igual manera se busca aprovechar los balances hídricos mundiales para observar la variación estacional del mismo. Para ello, se recurre a las bases de datos producidas en el proyecto GLDAS 2.1, NASA, Rodell *et al.* (2015), el cual dará cuenta de la variabilidad estacional del rendimiento hídrico (RH) en la totalidad de la RFI.

Con la finalidad de efectuar la valoración del RH, los valores de producción de la RFI, se presentan a nivel de coberturas de las cuales se analiza la producción anual, lo que será la base para las estimaciones de valoración económica de las variaciones de producción de la RFI, reportándose tales valores en m³/ha al año.

Para ello se realizan diferentes procedimientos, que se mencionan a continuación: a) Procedimiento contraprestación por aprovechamiento de la República Bolivariana de Venezuela (2018); b) Transferencia de beneficios usando los valores de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward y otros (2010) y c) Costo de conversión de bosques en zonas de asentamientos y minería.

Así bien, según el tipo de afectación de la RFI que se plantee, se proponen valores de referencia en la estimación del cambio de uso expresados en USD/ha al año.

Algunas conclusiones importantes son que la precipitación promedio en la RFI anual es del orden de 1 800 mm/año. La temperatura es de un valor promedio de 25,4 °C. Los valores encontrados de Eto para la RFI se encuentran en el orden de 1 609 mm/año, estos valores se comparan con datos mundiales simulados por Tabucco y Zommer (2018) los cuales son de 1 673 mm/año para la RFI, lo cual representa una diferencia de solo 3,4% entre ambas aproximaciones. Esto implica que ambas se pudieran usar en las estimaciones de rendimiento hídrico. Las aproximaciones a



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



valores de cultivo de referencia asignados para las coberturas se encuentran en promedio $K_c=0,98$.

Los valores de rendimiento hídrico encontrados, para la RFI mediante simulación con el software InVEST, se sitúan en el orden de 400 mm/año para 2018, lo cuales se comparan con promedios simulados por NASA entre 2000 y 2018, con la metodología desarrollada por Rodell *et al.* (2015). Estos están en 420 mm/año, lo cual indica una diferencia del 5% entre ambas fuentes que utilizan metodologías de cálculo diferentes.

El análisis de sensibilidad del rendimiento hídrico, debido a la variación de coberturas, mediante enfoques de elasticidades permite establecer que los cambios temporales en las coberturas inciden de manera significativa en la variación del rendimiento, situándose los valores de elasticidades entre 2 para cuencas con precipitaciones altas y hasta 6 en cuencas con precipitaciones bajas

El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Venezuela de 17 VES para el año 2018, corresponde a 0,009 USD/ha al año para el bosque húmedo tropical. El mismo es 32,86 si se usa la Unidad tributaria de Colombia y 3,97 si la usada es la del Perú.

El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Sánchez (2005) corresponde a 3,04 USD/ha al año para bosque húmedo tropical y 35,78, usando transferencia de beneficios de Aylward y otros (2010).

El costo de convertir una hectárea de bosque a asentamientos humanos, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 116,49 USD/ha al año para bosque húmedo tropical y 151,35 si se convierte una hectárea de este bosque a minería.

La principal recomendación es reinstalar el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos, dado a que la principal limitación para la ejecución del estudio es la falta de información.

2. Marco Teórico

En este apartado se va a presentar resumida el marco teórico referido al modelo inVest y al método de valoración económica de transferencia de beneficios. Otros aspectos relacionados con la valoración ambiental y la valoración económica se tratan de manera detallada en el punto 5 referido a hallazgos y resultados.

2.1. Modelo InVEST

El InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) es un conjunto de modelos de software libre y de código abierto, que utiliza información cartográfica como base para mapear, y valorar los bienes y servicios que sostienen la vida humana (Sharp, *et al.*, 2018).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Es un software compuesto de diferentes modelos independientes (dieciocho modelos, uno por cada servicio ecosistémico). Dichos modelos son espacialmente explícitos, por lo cual incorporan información geográfica, biofísica, usos y coberturas del suelo y ubicación de poblaciones y amenazas, entre otros atributos y producen como resultados mapas y datos métricos (NATCAP, 2014)

Los distintos modelos InVEST se basan en funciones de producción que definen cómo los cambios en la estructura y función de un ecosistema pueden afectar los flujos y valores de los servicios del ecosistema a través de un paisaje terrestre o marino. Los modelos representan tanto el suministro de servicios (p. ej., hábitats vivos como amortiguadores para las olas de tormenta) como la ubicación y actividades de las personas que se benefician de los servicios. (p. ej., ubicación de personas e infraestructura potencialmente afectadas por tormentas costeras).

Uno de los modelos calcula el rendimiento hídrico. Para esto, usa información de precipitación promedio anual, promedio anual de la evapotranspiración del cultivo de referencia, el contenido disponible de agua para las plantas, profundidad promedio de las capas de suelo que restringen el desarrollo de las raíces, factor de estacionalidad, cobertura/uso del suelo, delimitación de cuencas y subcuencas, una tabla con características biofísicas como profundidad de la raíz, Kc, profundidad máxima de la raíz.

El modelo conjuga la información suministrada y presenta el rendimiento hídrico anual en mm para diferentes puntos de las cuencas. Mediante álgebra de mapas se pueden calcular valores para determinados usos del suelo.

En los hallazgos y resultados; así como, en el anexo 9.1 se muestra más información sobre el InVEST.

2.2. Transferencia de beneficios

En esta técnica se transfiere los resultados de valoración monetaria por otros estudios en otros sitios similares al sitio de interés que se quiere valorar. La transferencia de beneficios puede ser:

- Transferencia de valor: usa un valor único de un estudio primario relevante y lo transfiere al sitio de interés.
- Transferencia de función: transfiere una función relevante de un sitio similar al sitio de interés.
- Análisis de metaregresión o metanálisis: usa distintas funciones de diversos estudios similares y las conjuga en una sola para el sitio de interés.

La técnica es muy apropiada cuando existen limitaciones de tiempo, dinero, información, experticia técnica para valorar un sitio de interés.

Las limitaciones principales de la técnica son la disponibilidad y selección apropiada de los estudios realizados en otros sitios para transferir al sitio de interés. Asimismo, la experiencia de los investigadores para aplicar el método y la precisión que se quiere para diferentes tomas de decisiones.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



La transferencia de beneficios no es un método de valoración como tal; sin embargo, permite utilizar los resultados de la valoración económica ambiental de un caso previo, con el objetivo de valorar un bien o servicio de interés en otro caso. Bajo esta técnica, los valores que se obtienen dependen de la metodología que se utilizó en el estudio de valoración de base. La transferencia de beneficios puede utilizarse como referencia uno o más estudios, a partir de promedios de varios resultados anteriores y ajustando con funciones de metaregresiones los valores al caso específico, si es el caso (Osorio, 2006).

Para obtener valores confiables y representativos se requiere que el estudio de base utilizado sea de muy buena calidad en términos de la robustez de los modelos utilizados y sus resultados, así como en la robustez de la información utilizada; que el bien o servicio ecosistémico evaluado sea el mismo que se quiere valorar en el nuevo estudio y las condiciones socioeconómicas y ambientales sean comparables entre ambos casos (Ruiz y otros, 2011).

Para garantizar una correcta aplicación de la metodología de transferencia de beneficios se deben aplicar los siguientes pasos previos al inicio de la aplicación: 1) se debe definir el sitio de intervención a evaluar, el bien o servicio ecosistémico a valorar y la población de interés; 2) identificar los estudios potenciales y relevantes para el caso; 3) evaluar su aplicabilidad consiguiendo el cumplimiento de las siguientes características: alta calidad en sus estimaciones; similitud en características propias del estudio tales como población, área geográfica, calidad del recurso a valorar, variables socioeconómicas, tamaño del mercado del bien o servicio ambiental y asignación de los derechos de propiedad. Finalmente, una vez revisado lo anterior, se procede a la estimación de los beneficios (Plummer, 2009).

Recomendaciones para la aplicación del método de Transferencia de Beneficios (Osorio, 2006):

- Se debe asegurar que el estudio de valoración utilizado para la transferencia de beneficios es de buena calidad.
- El estudio utilizado para la transferencia de beneficios debe haber evaluado un servicio ecosistémico similar o preferiblemente el mismo, que el estudio que se quiere realizar.
- Las características ecosistémicas, ecológicas y socio-económicas deben ser comparables en los dos estudios.

La transferencia de beneficios utilizando la función son más confiables, siempre cuando estas existan, que la transferencia de valores.

3. Metodología

Para ejecutar la valoración ambiental y económica del rendimiento hídrico y la regulación de los flujos de agua como servicios ecosistémicos de la RFI, la metodología se dividió en dos fases: valoración ambiental y valoración económica.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3.1. Metodología para la valoración ambiental

Para ejecutar la valoración ambiental se siguieron estos pasos:

- Análisis de la información histórica de precipitación y sus contrastes con los modelos de simulación *DownScaling* Eta-HadGem2 y Eta-Miroc5, adaptados para Venezuela en la Segunda Comunicación de Cambio Climático. Ajuste de los resultados a los históricos observados. Obtención del mapa de precipitación a utilizar en el balance hídrico.
- Estimación de la ETo. Análisis de la Información histórica de temperatura y su comparación con los modelos propuestos, realizando los ajustes a que hubiera lugar. Obtención del mapa a utilizar de temperatura en la RFI. Estimación de la ETo con datos de estaciones en tierra mediante la expresión de Penman Monteith. Búsqueda de correlación entre la expresión de Hamon y la de Penman-Monteith en las estaciones en tierra para la transformación de los obtenidos por Hamon a PM para toda la RFI. Determinación de un mapa de ETo para toda la RFI. Comparación de los datos obtenidos con aquellos de referencia en análisis mundiales.
- Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP). Para la estimación de la Evapotranspiración Potencial se recurrió a dos vías, la primera aproximación a partir de levantamientos espectrales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, conocido por sus siglas en Inglés como NDVI. La segunda mediante la foto-interpretación de imágenes LANDSAT para los años 2000 y 2018 con un pixel de resolución de 30mx30m. Asignación de Kc a cada cobertura. Los mapas de Kc obtenidos por ambos métodos se compararon para así estimar los niveles de aproximación por cada enfoque.
- Análisis de los diferentes índices de sequía propuestos en la literatura y su relación con el área de la RFI, con la finalidad de establecer los ámbitos de cobertura de este fenómeno hidrometeorológico en la Reserva.
- Utilización de InVEST V. 3.2.8 (2018), para la determinación del Rendimiento Hídrico a escala anual. Se utilizó InVEST para la determinación del Rendimiento Hídrico, el cual utiliza a su vez la expresión y parámetros de Budyko (1974) retomado por Zang *et al.* (2012) y Williams *et al.* (2012). El parámetro biofísico adimensional (W) de la expresión de Budyko se estimó con base en los obtenidos con las estaciones de medición en tierra, pero debido a lo muy corto de sus registros, se buscó comparar con las ecuaciones recomendadas por Xu *et al.* (2013). Propuestas de valores de referencia para toda la RFI. Debido a que se requiere igualmente, la estimación del balance por cada píxel de la zona estudiada se introdujo el valor de la constante estacional de precipitación (Z), que tiene como entradas la precipitación y el valor de la cantidad de agua disponible para las plantas (AWC). Para este fin, se aprovechó la base de datos AHD-Tool de HydroBID como insumo para la estimación de los valores por píxel de la constante biofísica $W(x)$.
- Comparación del rendimiento hídrico encontrado con los resultados y bases de datos mundiales. Debido a que en los últimos años se han realizado propuestas para balances hídricos globales, se aprovechó las bases de datos disponibles en la web y resultados de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



proyectos globales en los que cabe destacar el GLDAS 2.1 NASA Rodell *et al.* (2015), el cual es representado de manera espacial por ESRI. En su portal web *Global Balance*. Los balances presentados, se obtuvieron de manera espacial para la RFI. Y se compararon con los obtenidos mediante la simulación del rendimiento anual con InVEST.

- Una vez validada la información obtenida mediante GLDAS 2.1, con los resultados obtenidos a nivel anual mediante InVEST, se procedió a observar el comportamiento estacional del rendimiento en la RFI, obteniéndose y discutiéndose estos resultados con los encontrados y reportados con las estaciones hidrométricas ubicadas en la RFI, esta comparación sirvió para establecer la morfología estacional de los rendimientos en cada zona de la Reserva. Así como el comportamiento espacial del mismo.
- Determinación del rendimiento hídrico para diferentes coberturas. Con la finalidad de proceder a la valoración de los impactos de cambio de cobertura se presenta igualmente un análisis de las diferentes producciones anuales con los levantamientos de coberturas para toda la RFI, tanto para el año 2000 como 2018 y proceder a realizar la comparación de los cambios respectivos en rendimientos.
- Análisis de la regulación del flujo en la RFI. Se realizó un análisis de la estacionalidad del flujo con la base de datos que arroja la NASA, y se procesan los datos mensuales para el período desde enero de 2000 hasta mayo 2019 en una malla de 0,25 x 025°.

3.2. Metodología para la valoración económica

La valoración económica se ejecutó a través de tres métodos:

- Procedimiento contraprestación por aprovechamiento de la República Bolivariana de Venezuela (2018), para el valor de la Unidad Tributaria Venezolana del año 2108. Adicionándole, para la comparación, el valor de la Unidad Tributaria, año 2018, de Colombia y Perú.
- Transferencia de beneficios usando los valores de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward (2010).
- Conversión de bosques a zonas de asentamientos y minería para determinar el valor económico resultante de transformar bosques a asentamientos o bosques a minería, debido a su efecto sobre el rendimiento hídrico.

En los hallazgos y resultados se amplía la metodología usada para las valoraciones ambiental y económica.

4. Limitaciones

Las limitaciones principales tienen que ver con la carencia de información de variables como la precipitación y evaporación de la RFI.

Asimismo, información de suelo y de cobertura limitaron el desarrollo del trabajo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



En adición, las fallas eléctricas e internet restan eficiencia al desarrollo del estudio.

5. Hallazgos y resultados

5.1. Valoración ambiental del rendimiento hídrico y regulación de los flujos de agua

5.1.1. Análisis de datos de precipitación para el Rendimiento Hídrico y regulación de flujos de agua de la RFI

Una vez examinada la información existente, se propuso estudiar el rendimiento hídrico de la RFI, para lo cual, se analizaron las variables que la condicionan, como son Precipitación, Evaporación, y Cobertura Biofísica. Luego, mediante las expresiones adecuadas, se encontró el rendimiento hídrico de la cuenca. Dados los cortos períodos hidrométricos históricos disponibles, los resultados encontrados, se comparan con la producción de información mundial para verificar los órdenes de magnitud y establecer niveles de aproximación o incertidumbre.

La marcha metodológica consistió en la comparación de datos obtenidos en tierra, uso de algoritmos contemporáneos para establecer balances hídricos anuales y su comparación con fuentes mundiales.

Datos de precipitación. El análisis de los datos de precipitación se presenta en dos secciones, aquella correspondiente a la precipitación histórica y a la correspondiente a la pseudohistórica que se utiliza para el análisis en el presente estudio.

Datos de precipitación histórica

Para la Reserva se poseen datos de precipitación mensuales y diarios para estaciones en tierra, de la base de datos del INAMEH se disponen de datos hasta el año 2005.

La precipitación anual en la RFI, oscila según el período histórico de referencia el cual se encuentra entre los 1 700 mm y 1 900 mm. De esta manera, se observa en la Figura 9.1a, isoyetas anuales para toda la base de estaciones históricas que se encuentran en la base de datos de INAMEH. En la misma, se observan claramente dos centros de tormenta uno al Noreste de la RFI y otro situado al Suroeste, estos centros de tormentas no se podrán representar en periodos históricos comunes puesto que las estaciones que evidenciaban este comportamiento espacial fueron eliminadas.

Así bien, la Figura 9.1b, muestra las isoyetas medias anuales para el período 1971 al 2000, este período es de interés, puesto que en el mismo se han basado los modelos meteorológicos utilizados para Cambio Climático (CC) manejados en la II Comunicación presentada para Venezuela en 2017. En este período se encuentra una precipitación media anual de 1 803 mm para la RFI. Se evidencian altas precipitaciones al Sur de la RFI, pero ya no se observa el centro de tormenta al Noreste comentado anteriormente.

Por otro lado, el INAMEH presenta en su página web isoyetas anuales y mensuales para un período entre 1968-1983, con base en un estudio realizado para el CONICIT (Consejo Nacional

de Ciencia y Tecnología) denominado actualmente FONACIT. El análisis de la precipitación media para la RFI en este período, que se muestra en la Figura 9.1c, es de 1 917 mm.

Finalmente, de la consulta de datos hidrométricos, se obtuvo que el periodo histórico en el cual se realizan mediciones en algunos ríos de la zona es de 1977 al 1982, donde se analiza la precipitación media anual para este período, resultando en 1 773 mm. Este resultado, mostrado en la Figura 1d, supondría una diferencia del 2% menor con respecto al periodo de 1971-2000. Lo que expresa que este periodo, aunque corto, es muy cercano al mayor histórico analizado. Debido a que se tienen diferentes referencias se presenta la Figura 9.2, que muestra los períodos a considerar según las fuentes, de las bases de datos consultadas y los períodos de interés.

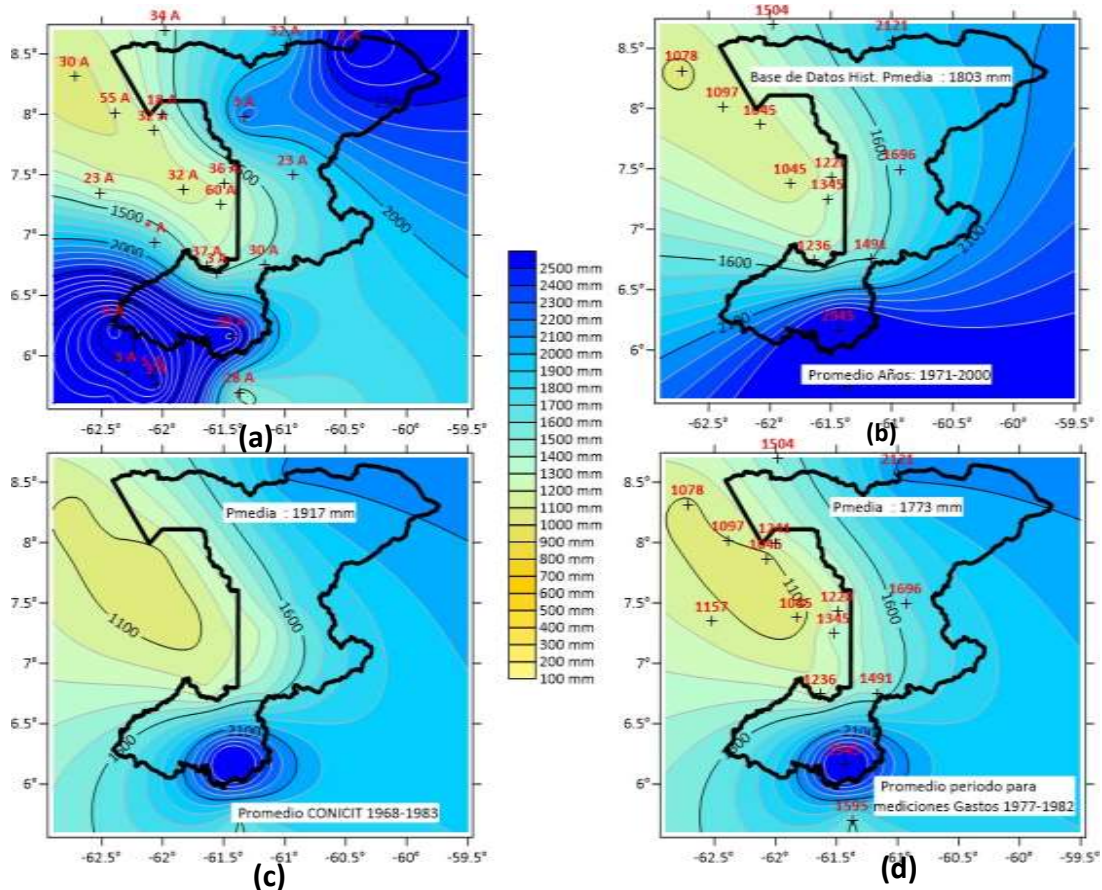


Figura 9.1. Isoyetas de Precipitación media mensual para la RFI, con base en diferentes períodos de interés. (a) Precipitación Asíncrona. (b) Período 1971-2000. (c) Período 1968-1983. (d) Período 1977-1982.

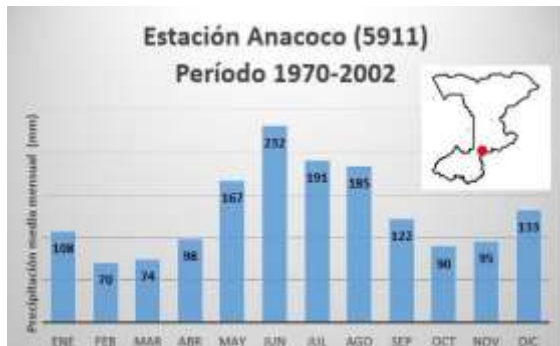


Figura 9.2. Hietogramas mensuales de precipitación media para diferentes estaciones cercanas y dentro de la RFI.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Con la finalidad de observar el comportamiento mensual de la precipitación en la RFI, se presentan siete estaciones las cuales se consideran representativas, debido a su ubicación espacial y al período de registros que poseen. Destacándose la estación Upata (3994) que posee 60 años de datos y a la vez registra la precipitación mínima de las mostradas, con un promedio de 1 104 mm/año. Asimismo, se destaca que los mayores registros de precipitación los muestra la estación Kilómetro 88 (5901) con 2 839 mm/año.

Se observó, además, que las estaciones registran un comportamiento temporal ligeramente bimodal, encontrándose los períodos de mínimas precipitaciones para los meses de febrero-marzo y los de máximas entre mayo y agosto, siendo el mes junio, el de mayor precipitación para todas. Además, se registra un ligero incremento de precipitación en los meses de noviembre-diciembre.

Datos de precipitación pseudohistóricos

A partir de la II Comunicación de Cambio Climático venezolana, se poseen simulaciones en *downscaling* de modelos globales con mallas de 0,2 grados de píxel (aproximadamente 20 km). Se presentaron 2 modelos, Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5. También poseen simulaciones mensuales promedio para los años 1971-2000, de valores de Temperatura y Precipitación.

Los datos arrojados por ambos modelos se contrastan con la información histórica registrada para las estaciones en tierra en el mismo período, y se encuentra que los modelos Eta-HadGEM2-ES, Eta-MIROC5 tienden a subestimar y sobre estimar la precipitación respectivamente para el caso de la Reserva. Lo interesante es que, en el ensamble de ambos modelos, se encuentran valores muy cercanos al promedio histórico (en un 8% de exceso) anual registrado por las estaciones en el área, pero con la particularidad de que logran expresar la variabilidad espacial de la precipitación, lo que no necesariamente arroja las estaciones en tierra con periodos comunes. Esto último, solo se observa si se realiza un mapa asincrónico de precipitación histórica de todas las estaciones que se instalaron en la región.

La Figura 9.3, muestra de manera gráfica lo expresado anteriormente. Debido a la pequeña variación, el mapa final a emplear se dividirá entre el factor de exceso para ajustarlo a los datos históricos observados.

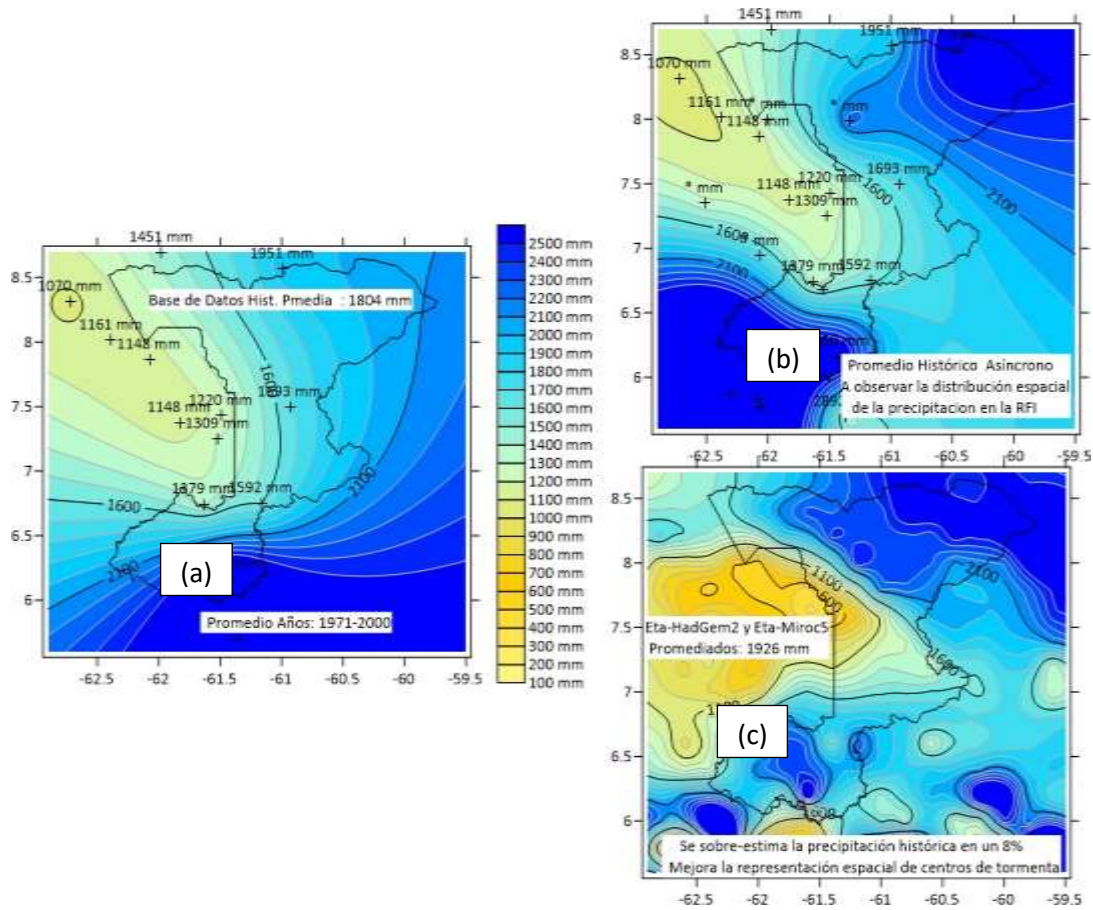


Figura 9.3. Información histórica en contraste con los modelos ETA-Hadgem2 y Eta-Miroc5. (a) Histórica 1971-2000 (b) Histórica Asíncrona (c) Ensamble Simulación histórica modelos.

Así pues, en la Figura 9.4, se muestra el mapa de precipitación media para la RFI, que se tomará en cuenta para estimar el rendimiento hídrico anual.

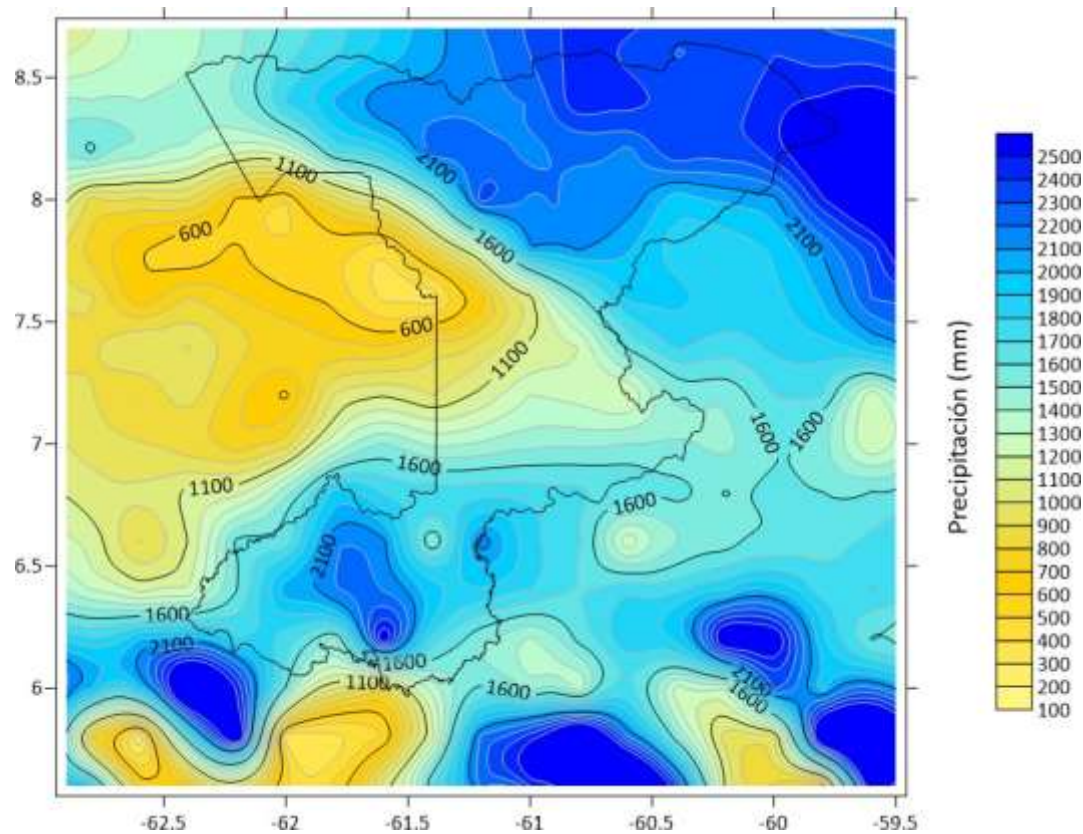


Figura 9.4. Precipitación media en la RFI. Ensamble ajustado Pmedia 1 800 mm.

5.1.2. Estimación de ETo

Habida cuenta que la evapotranspiración es la variable de mayor relevancia en los procesos de análisis de balance hídrico, para la estimación de esta, se procedió con la siguiente marcha metodológica.

- Se analizan los datos de temperatura histórica y aquellos climatológicos disponibles para la región.
- Se calcula la Evapotranspiración del cultivo de referencia con base en los datos aportados en tierra, tanto por la fórmula de Hamon (1963). Citado por Rao *et al.* (2011) y la de Penman-Monteith Allen (1998).
- De las simulaciones de datos de temperatura, se calcula la ETo mediante la expresión de Hamon, luego estos datos se ajustan a los históricos medidos por las estaciones en tierra mediante correlación con la expresión de Penman Monteith.
- Los datos obtenidos se comparan con referencias mundiales disponibles.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Los valores de los coeficientes de cultivos de referencia para la determinación de la Evapotranspiración potencial de la RFI, se calculan mediante dos vías: (1) Utilizando valores clásicos tabulados para diferentes clasificaciones de coberturas que se determinan de la base de datos de HydroBID, la cual parte de la clasificación propuesta por el USGS; (2) determinando K_c espectral, a partir de valores del Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación conocido por sus siglas en inglés como NDVI y las correlaciones propuestas por Cuesta *et al.* (2005) a partir de experiencias en España.
- Se comparan con otras fuentes, para luego proceder a determinar los valores de los cultivos de referencia que aplican a cada clase de uso de la tierra y aquellas obtenidas por sensores remotos.
- Una vez establecido los Valores de K_c , para la RFI, se procede a determinar la Evapotranspiración potencial (ETP)

Datos de temperatura: Se analizaron los datos de temperatura histórica reportados por las estaciones en tierra, y se compararon con aquellos reportados por las simulaciones para la región, ajustándose los mismos a los históricos, para los fines del presente trabajo.

Datos históricos de temperatura

Los datos levantados por las estaciones climáticas son escasos, encontrándose solo tres estaciones con datos representativos en la base de datos INAMEH, a saber: Upata (3994), Tumeremo-Aeropuerto (4974) y Anacoco (5911), esta última dentro de la RFI. El análisis se realiza para un período de 29 años entre 1971 y 1999. Se destaca que se buscó extender este periodo hasta el año 2000, pero las mismas reportan registros hasta 1999.

En la Figura 9.5, se observa que la temperatura media anual en la RFI para el periodo 1971-1999 es de 25,7 °C. Igualmente, se presenta el comportamiento de la temperatura media mensual para las estaciones seleccionadas y ordenadas por su ubicación espacial de Norte a Sur.

En general, se observa el comportamiento bimodal de la temperatura para las estaciones de referencia. Las máximas térmicas se encuentran en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre; y las mínimas entre diciembre-enero y junio-julio. Este último período de mínimas, pudiera verse influenciado por el aumento de nubosidad correspondiente a la época de lluvias reportada para la región.

Aunque se observan las mayores variaciones de temperatura entre los meses de mayo y junio para la estación Upata, el cual, es de 1,3 °C; se tiene que, para todas las estaciones, un comportamiento térmico relativamente homogéneo.

Finalmente, es conveniente destacar que los valores presentados de temperatura media para los periodos históricos de medición en Tumeremo Aeropuerto, años 1951 al 1999 (49) difiere en 0,1 °C con respecto al periodo analizado. De manera similar, para la Estación Anacoco, años 1953 al 1999 (47) arroja una diferencia de 0,3 °C con respecto al período de 1971 al 1999.

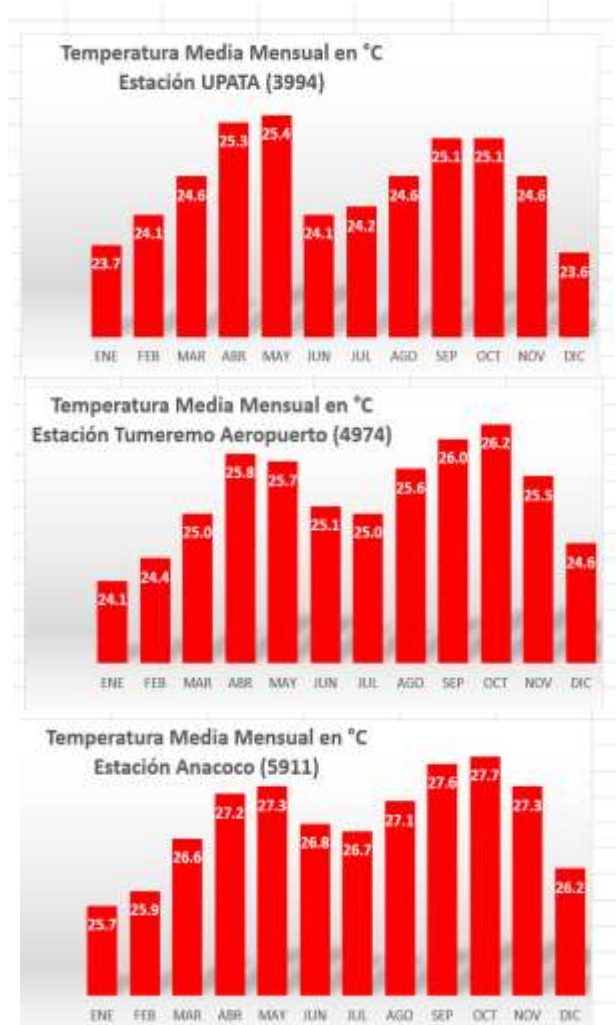
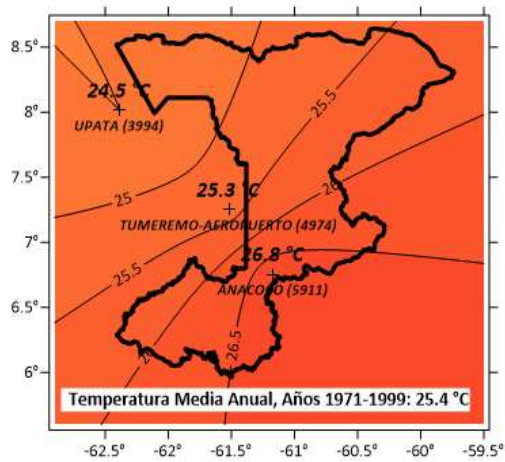


Figura 9.5. Distribución Espacio-Temporal de la Temperatura para estaciones cercanas y dentro de la RFI. Años 1971 al 1999.

Datos simulados de temperatura

Con la finalidad incorporar la valiosa representación espacial que arrojan los modelos de simulación para los años 1971-2000, se analizan los resultados arrojados por el ensamble de los modelos EtaMIROC-5 y Eta-HadGEM2-ES al ensamble se le suman 3 °C, con la finalidad de ajustarlos a los promedios históricos registrados por las estaciones en terreno, como se muestra en la Figura 9.6.

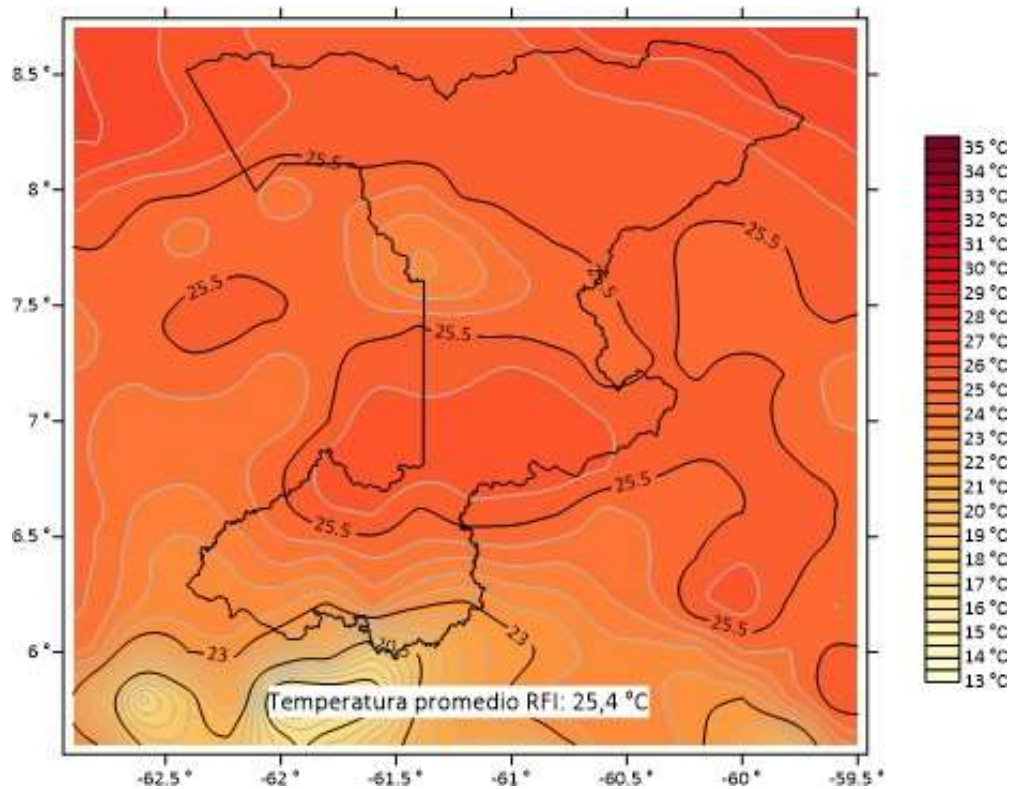


Figura 9.6. Distribución espacial de la temperatura media anual en la RFI, obtenida a partir del ensamble de modelos Eta-HadGEM2-ES y Eta-MIROC5 ajustada a datos históricos.

Datos de Evapotranspiración de referencia: Para la estimación de la Evapotranspiración de referencia ETo , se realiza mediante dos procedimientos; el primero consiste, a partir de los datos históricos de las estaciones con más información, realizar la estimación, mediante Penman-Monteith, esto se realiza con los datos de las Estaciones UPATA (3994), Tumeremo Aeropuerto (4974) y Anacoco (5911), y luego se estima mediante Hamon.

Para esto, se utiliza el Modelo ETo Calculator V3.2 de la FAO, a continuación, se muestran los resultados para cada una de las tres estaciones de referencia,

Estimación de la ETo mediante Penman-Monteith (PM) y su comparación con datos históricos medidos en Tina.

Mediante Eto Calculator V 3.2, de libre uso, se estima ETo -PM. Estos resultados se comparan con las láminas históricas medidas en tina para las estaciones de referencia, estimándose de manera inversa el coeficiente Kp , que aplicaría a cada estación en caso de compararse con aquellos arrojados por PM.

ETo Penman-Monteith (PM) y valores de tina evaporimétrica para estación Upata (3994)

Con los datos históricos de la Estación Upata, se realiza el Cálculo de la ETo, mediante PM, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.1 y Figura 9.7.

Tabla 9.1. Datos, Resultados Eto Calculator V3.2 PM para Estación Upata (3994) - Promedio Histórico.

Month	Tmax °C	Tmean °C	Tmin °C	RHmax %	RHmean %	RHmin %	u(x) m/sec	ETo mm/day
1	29,8	24,7	19,5	99	82	53	2,2	4,2
2	30,3	24,9	19,5	99	77	38	2,4	5,2
3	31,4	25,6	19,8	98	73	35	3,0	6,1
4	32,2	26,4	20,6	98	73	42	3,4	6,2
5	31,7	26,4	21,0	99	78	42	2,9	5,7
6	29,9	25,3	20,7	99	83	54	1,9	4,3
7	29,6	25,0	20,4	99	84	57	1,7	4,1
8	30,1	25,3	20,5	99	85	58	1,8	4,3
9	31,1	26,0	20,9	99	82	53	1,7	4,6
10	31,3	26,1	20,8	99	81	46	1,9	4,8
11	30,8	25,7	20,6	99	83	51	1,9	4,3
12	29,6	24,9	20,1	99	83	46	2,0	4,2

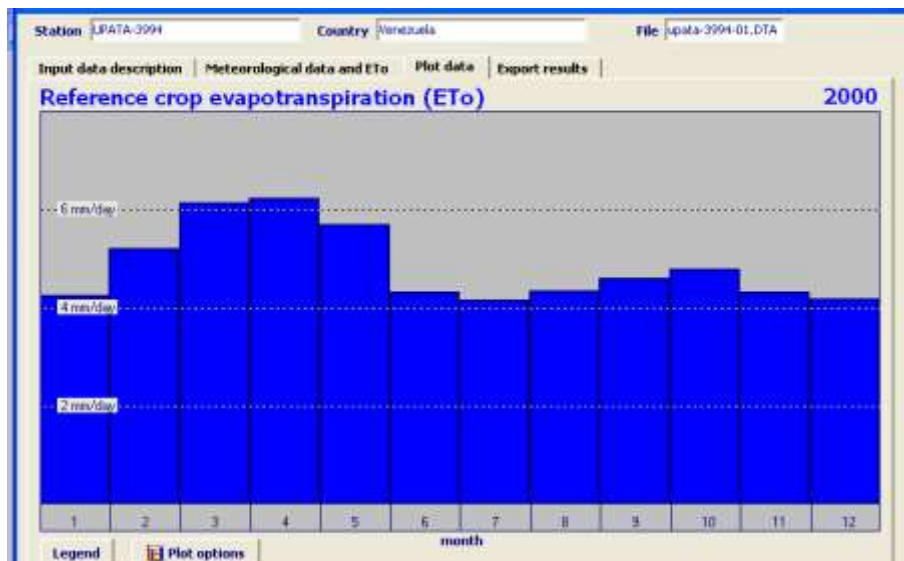


Figura 9.7. Láminas diarias de Eto PM para cada mes, obtenidas de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Upata 3994.

Se encuentra que la máxima Eto, se presenta en el mes de marzo, 6,2 mm/d, el valor mínimo es de 4,1 mm/d y se presenta en el mes de julio. Con un promedio diario de 4,8 mm/d, mensual de 146,9 mm/mes y anual de 1 763 mm/año.

La Figura 9.8, muestra los valores históricos medidos en tina de evaporación para el período 1971-1990, en los cuales se registra una evaporación anual de 1 863 mm/año. Comparando estos datos con los obtenidos con la aproximación de Eto de PM, se deduce que el coeficiente Kp aplicable a los datos de tina para transformarlos a Eto, sería de 0,95; el cual es alto, si se compara con los sugeridos por FAO-56 (0,80) para una tina tipo A, en condiciones estándar. La estación Upata, presenta los mayores valores de Eto, calculados para la RFI, sin embargo, los medidos en tina no son los mayores, los máximos son los reportados por la estación Tumeremo Aeropuerto tal como se observará más adelante.



Figura 9.8. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1953-1996 en la Estación Upata 3994. Promedio anual 1 863.

ETo Penman-Monteith y valores de tina evaporimétrica para estación Tumeremo-Aeropuerto (4974)

La estación Tumeremo Aeropuerto está a cargo de la Fuerza Aérea venezolana, formando parte de su red, obteniéndose información adicional como número de horas de luz y de radiación solar, lo que permite mejorar la estimación de la Eto-PM.

La Tabla 9.2, presenta los datos y resultados de Eto Calculator, encontrándose que el mes de máxima Eto es abril con 4,9 mm/d y el de mínima es diciembre con 3,6 mm/d. Asimismo, se muestra la Figura 9.9, con los resultados de ETo. El análisis de los resultados se desprende que

el valor promedio diario es de 4,3 mm/d, mensual de 130,5 mm/mes y anual de 1 566 mm/año. Se poseen, además, de la base de datos del INAMEH, datos históricos de Evaporación en tina en el período 71-80 de 1 991 mm/año. Estos se presentan en la Figura 9.10.

Así bien, asumiendo estacionalidad temporal al comparar valores calculados y medidos, el coeficiente Kp a aplicar los datos de tina para llevarlo a Eto, sería de 0,79; lo cual, es consistente con los sugeridos por FAO, (0,80) para aplicar a la tina Tipo A, que utiliza la Fuerza Aérea Venezolana para estas mediciones.

Tabla 9.2. Datos y Resultados P-M, Eto Calculator V3.2 para Estación Tumeremo-Aeropuerto (4974) Promedio Histórico.

Month	Tmax °C	Tmean °C	Tmin °C	RHmax %	RHmean %	RHmin %	u(x) m/sec	N	Rs	ETo mm/day
1	29,9	23,9	20,7	98	86	54	2,1	5,7	14,8	3,7
2	30,8	24,2	20,5	98	84	49	2,3	6,3	16,6	4,3
3	31,8	25,0	20,9	98	80	45	2,6	6,0	17,0	4,8
4	32,5	25,7	21,6	98	80	46	2,6	6,1	17,0	4,9
5	32,0	25,6	22,1	98	85	52	2,4	5,8	16,5	4,4
6	31,0	24,9	22,0	98	89	58	2,0	5,1	15,7	3,9
7	31,2	24,9	21,7	98	88	56	1,8	6,0	17,0	4,1
8	32,1	25,4	21,9	99	86	51	1,8	7,1	18,1	4,4
9	32,9	25,9	21,9	98	83	47	2,0	7,4	18,8	4,8
10	33,0	26,0	21,9	98	82	47	2,1	7,2	17,1	4,6
11	32,0	25,3	21,9	98	85	52	2,1	6,5	15,2	4,0
12	30,5	24,4	21,4	98	88	56	2,0	5,6	14,1	3,6

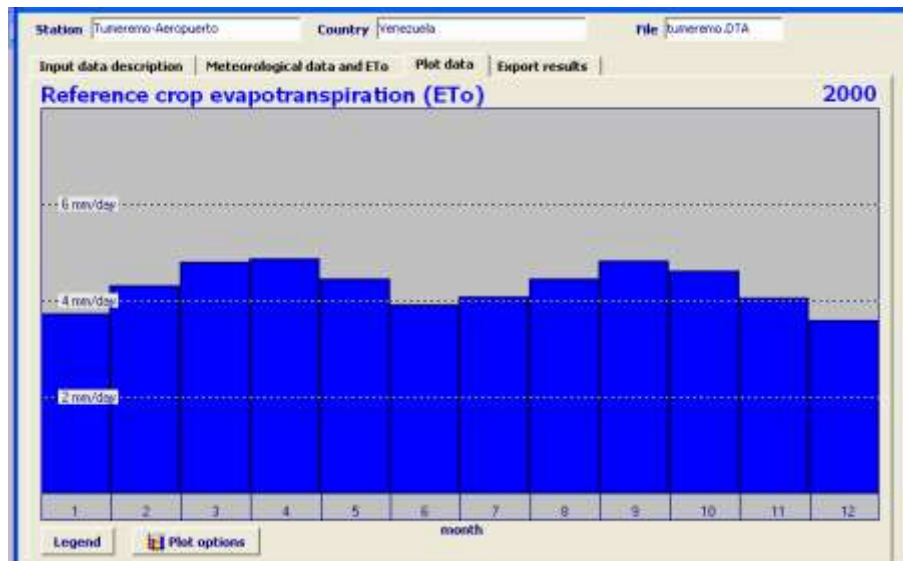


Figura 9.9. Láminas diarias históricas de Eto P-M para cada mes, obtenidos de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Tumeremo Aeropuerto (4974).



Figura 9.10. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1972-1980 en la Estación Tumeremo-Aeropuerto (4974). Promedio anual 1991.

ETo Penman-Monteith y valores de tina evaporimétrica para estación Anacoco (3994)

A partir de los datos históricos de la Estación Upata, se realiza el Cálculo de la ETo, mediante PM, los resultados se muestran en la Tabla 9.3. En la misma se puede observar que el valor máximo de Eto se presenta en el mes de abril, 5 mm/d. Asimismo el mínimo se encuentra en el mes de diciembre 3,7 mm/d.

Los valores obtenidos de ETo se muestran de manera gráfica en la Figura 9.11. De los resultados se puede destacar que la ETo-PM diaria estimada para la Estación Anacoco es de 4,3 mm/d, la mensual de 132,3 mm/mes y la anual de 1 587 mm/año.

En la Figura 9.12, se presentan los datos medidos en Tina, para la estación Anacoco, en un período entre 1971 y 1999. Se encuentra que el valor medio anual es de 1 758 mm/año. Ahora bien, con base a los cálculos de PM, se deduce que el coeficiente Kp equivalente aplicable a los datos de tina sería de 0,90, el cual es superior al sugerido (0,80) para las condiciones de las tinajas tipo A. utilizadas para la realización de las mediciones.

Tabla 9.3. Datos y Resultados Eto Calculator V3.2 para Estación Anacoco -5911- Promedio Histórico

Month	Tmax °C	Tmean °C	Tmin °C	RHmax %	RHmean %	RHmin %	u(x) m/sec	ETo mm/day
1	30,6	25,7	20,6	100	82	43	0,9	3,8
2	31,2	25,9	20,5	99	78	40	1,0	4,3
3	32,0	26,6	21,0	98	75	36	1,1	4,7
4	32,6	27,1	21,6	98	74	37	1,3	5,0
5	32,5	27,2	21,9	100	78	37	1,2	4,7
6	31,6	26,8	21,9	99	84	44	0,8	4,1
7	31,8	26,7	21,5	100	82	42	0,7	4,1
8	32,5	27,1	21,7	99	81	39	0,7	4,3
9	33,3	27,6	21,4	98	77	38	0,8	4,7
10	33,3	27,7	21,8	100	76	35	0,9	4,6
11	32,6	27,3	21,8	99	78	41	1,0	4,2
12	31,0	26,2	21,3	99	82	43	0,9	3,7

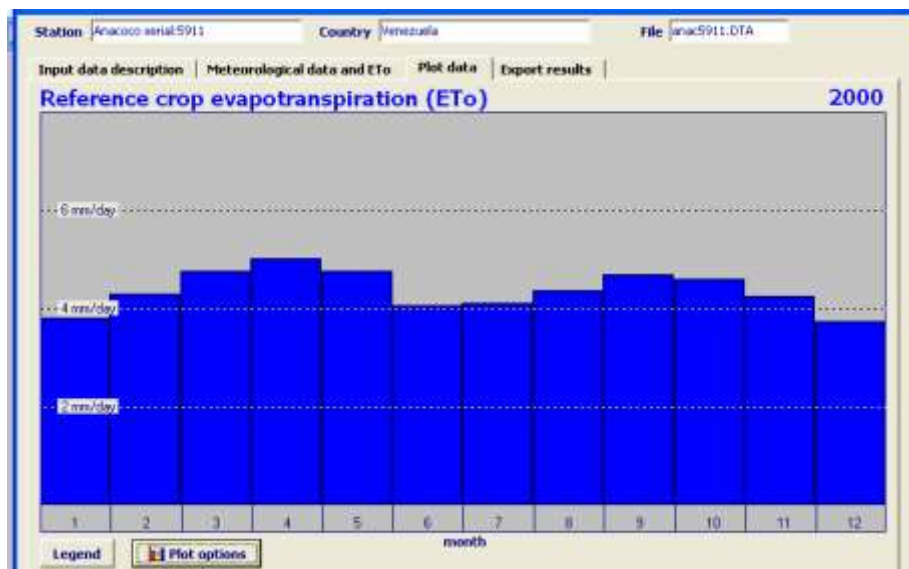


Figura 9.11. Láminas diarias históricas de Eto PM para cada mes, obtenidos de Eto Calculator V 3.2 en la Estación Anacoco (5911). Eto anual de 1 587 mm.



Figura 9.12. Láminas mensuales de Evaporación en Tina, obtenidas de para los años 1971-1999 en la Estación Anacoco (5911). Promedio 1 758 mm/año.

Estimación de la Eto mediante Hamon

La expresión de Hamon se encuentra dentro de aquellas que sólo trabajan con temperatura como variable meteorológica medida, los demás parámetros como radiación extraterrestre son calculados a partir de la latitud de la ubicación de la estación y la época del año. Esta expresión, aunque simplificada y sencilla, es útil para cuando se tienen datos de simulaciones espaciales de temperatura, provenientes de modelos de cambio climático, como es caso que ocupa al siguiente trabajo.

Hamon, viene siendo incorporada en modelos de simulación de escorrentías contemporáneas, a saber, el Modelo THWM del USGS (2007) e HydroBID (2015), entre otros. Una de las mayores críticas a la misma, es que pudiera sobreestimar los valores de Eto, para valores altos de temperatura Hostetler y Alder (2016), sin embargo, para validar esto, ya se tiene observaciones de láminas en tina y estimaciones previas mediante PM, que serán útiles para realizar la comparación de Eto, arrojadas por esta expresión y así evitar sobre estimaciones.

Conscientes de que la estimación sólo por temperatura, pudiera arrojar valores poco confiables de ETo, se busca entonces la corrección de Hamon con Penman-Monteith para así transformar los valores obtenidos por Hamon con entradas de solo temperatura en equivalentes PM. De esta manera se podrían utilizar los campos espaciales simulados por temperatura para toda la RFI. Ver Tabla 9.4.

Tabla 9.4. Resumen Datos y ETo Hamon para estaciones RFI

Mes	Upata Latitud: 8,0°			Tumeremo-Aeropuerto Latitud: 7,3°			Anacoco Latitud: 6,8°		
	T (°C)	Nhoras (luz)	Eto (mm/d)	T (°C)	Nhoras (luz)	Eto (mm/d)	T (°C)	Nhoras (luz)	Eto (mm/d)
1	23,9	11,6	3,4	23,9	11,6	3,5	25,7	11,7	3,8
2	24,2	11,7	3,6	24,2	11,8	3,6	25,9	11,8	3,9
3	24,9	12,0	3,8	25,0	12,0	3,8	26,6	12,0	4,1
4	25,5	12,2	4,0	25,7	12,2	4,0	27,2	12,2	4,3
5	25,6	12,4	4,1	25,6	12,3	4,0	27,3	12,3	4,4
6	24,5	12,5	3,8	24,9	12,4	3,9	26,8	12,4	4,3
7	24,3	12,4	3,8	24,9	12,4	3,9	26,7	12,4	4,3
8	24,7	12,3	3,8	25,4	12,2	4,0	27,1	12,2	4,3
9	25,3	12,0	3,9	25,9	12,0	4,0	27,6	12,0	4,4
10	25,3	11,8	3,8	26,0	11,8	4,0	27,7	11,8	4,4
11	24,8	11,6	3,6	25,3	11,7	3,8	27,3	11,7	4,2
12	24,0	11,5	3,5	24,4	11,6	3,5	26,2	11,6	3,9

Ahora bien, se busca la correlación entre los valores obtenidos por Hamon y PM, con la finalidad de transformar los obtenidos por Hamon a Equivalentes PM.

Para esto, se parte de la buena consistencia de los valores obtenidos por la estación Tumeremo-Aeropuerto en relación con las láminas medidas en Tina y calculadas mediante PM. De esta manera, se encuentran los factores que se muestran en la Tabla 9.5, los cuales se obtienen de dividir los encontrados por PM entre los arrojados por Hamon para la Estación Tumeremo Aeropuerto.

Tabla 9.5. Factores de Ajuste para transformar Eto de Hamon a Eto-PM

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1,070	1,208	1,268	1,224	1,090	0,998	1,052	1,111	1,198	1,161	1,065	1,016

Así bien, la Figura 9.13, muestra las diferentes correlaciones obtenidas con las estaciones de referencia, una vez aplicados los factores. Los coeficientes de determinación (r^2) son mayores a 0,90 para todas las estaciones, lo cual da fe de una excelente correlación entre ambos métodos para la RFI.

Se evidencia además que la estación Anacoco, situada al sur, tiende a sobre estimar los valores de ETo con respecto a PM, pudiéndose encontrar una relación con la latitud, y la sobre o subestimación de Hamon con respecto a PM. Esto probablemente es debido a que la



simplificación de Hamon, no se estiman con mayor precisión otras variables que dependen de este parámetro mejor calculadas con PM.

Para realizar un ligero ajuste final a esta sobre o subestimación, se propone un modelo de tipo logístico (3 parámetros) cuyas constantes se extraen de la latitud de cada estación de referencia, quedando el mismo definido como

$$\text{Factor-Eto-PM} = 1.0213 / (1 + 0.1108 * \exp(3.2933(\text{Lat} - 6.75)))$$

(Ecuación 9.1)

Es de hacer notar que esta expresión será válida para la región de la RFI con latitud mayor o igual a 6,75°, para valores menores, se toma el factor arrojado para 6,75°.

De esta manera, disponiendo de las coordenadas de cada píxel dado por los modelos de *downscaling*, y el ensamble ajustado de los mismos, se puede obtener finalmente los campos de Evapotranspiración de cultivo de referencia, que se presenta en la Figura 9.14. Es conveniente destacar que la representación espacial de estos campos se realiza con una resolución de 0,01°, lo cual es aproximadamente de 1km x 1km, para toda el área de la RFI. La ETo promedio obtenida en la RFI, es de 1 609 mm.

De igual manera, se obtiene a partir de bases de datos y referencias mundiales los reportados por Tabucco y Zommer (2018), Figura 9.15, en ésta se tiene que la Eto para la RFI arroja un valor de 1 673 mm/año. Comparando esta última con los valores encontrados, con las simulaciones y ajuste con estaciones en tierra, se observa una diferencia de 4% por defecto con respecto a aquellos reportados por estos autores.

Otro elemento que es importante destacar, es el carácter fractal que muestran los valores reportados por Tabucco *et al.* (Op. Cit), típica de levantamientos puntuales de sensores remotos. Sin embargo, se pueden observar, asimismo, las tendencias espaciales más definidas en el presente estudio, esto último se debe a que en el proceso de representación espacial se han utilizado técnicas geoestadísticas que arrojan una mejor distribución espacial, que se combinan con el resto de tendencias espaciales de las variables involucradas extraídas de los modelos de simulación y su respectivo ensamble, considerados en este trabajo.

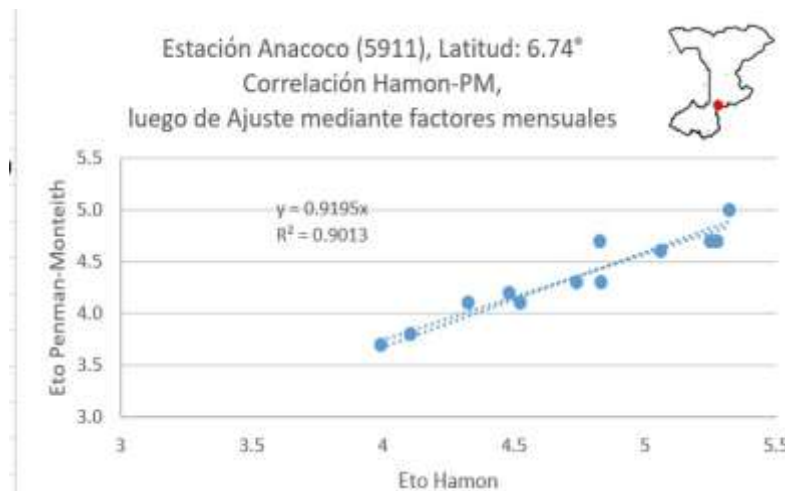
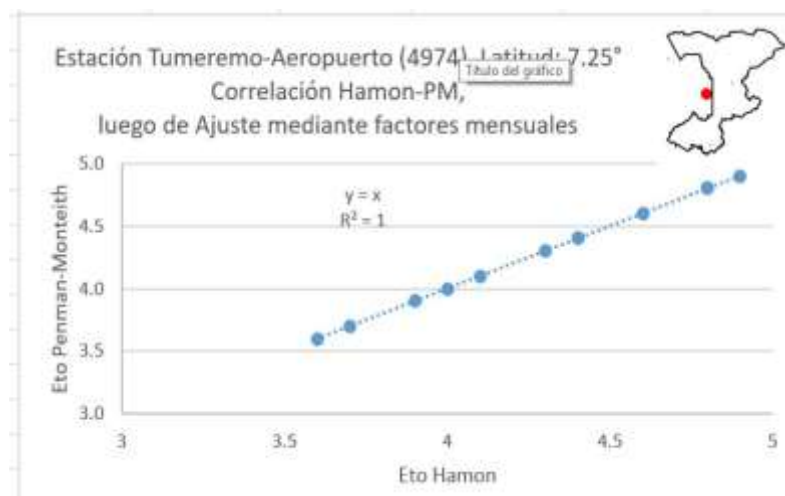
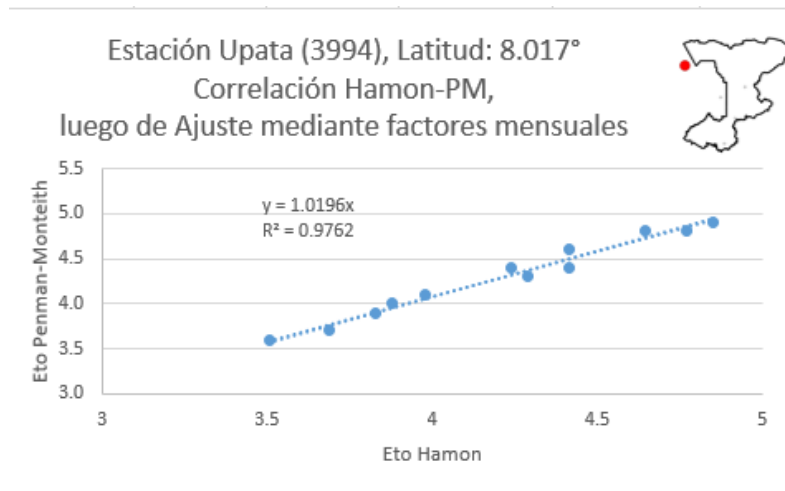


Figura 9.13. Correlaciones obtenidas entre PM y Hamon luego de ajuste mensual de datos mediante para datos históricos de las estaciones de referencia en la RFI.

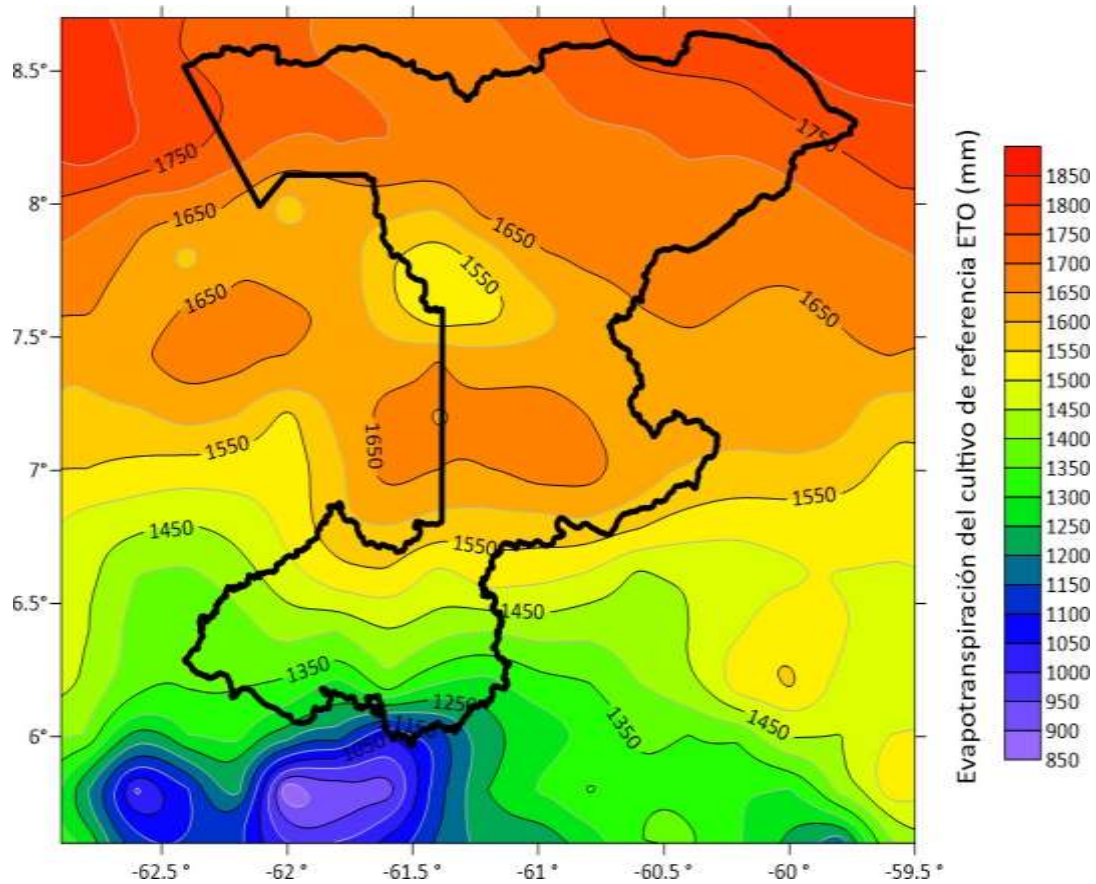


Figura 9.14. Evapotranspiración del cultivo de referencia promedio (ETo) 1971-2000. Simulada para la RFI. Hamon-PM-Ensamble Temperatura. Valor Promedio Eto en RFI: 1 609 mm.

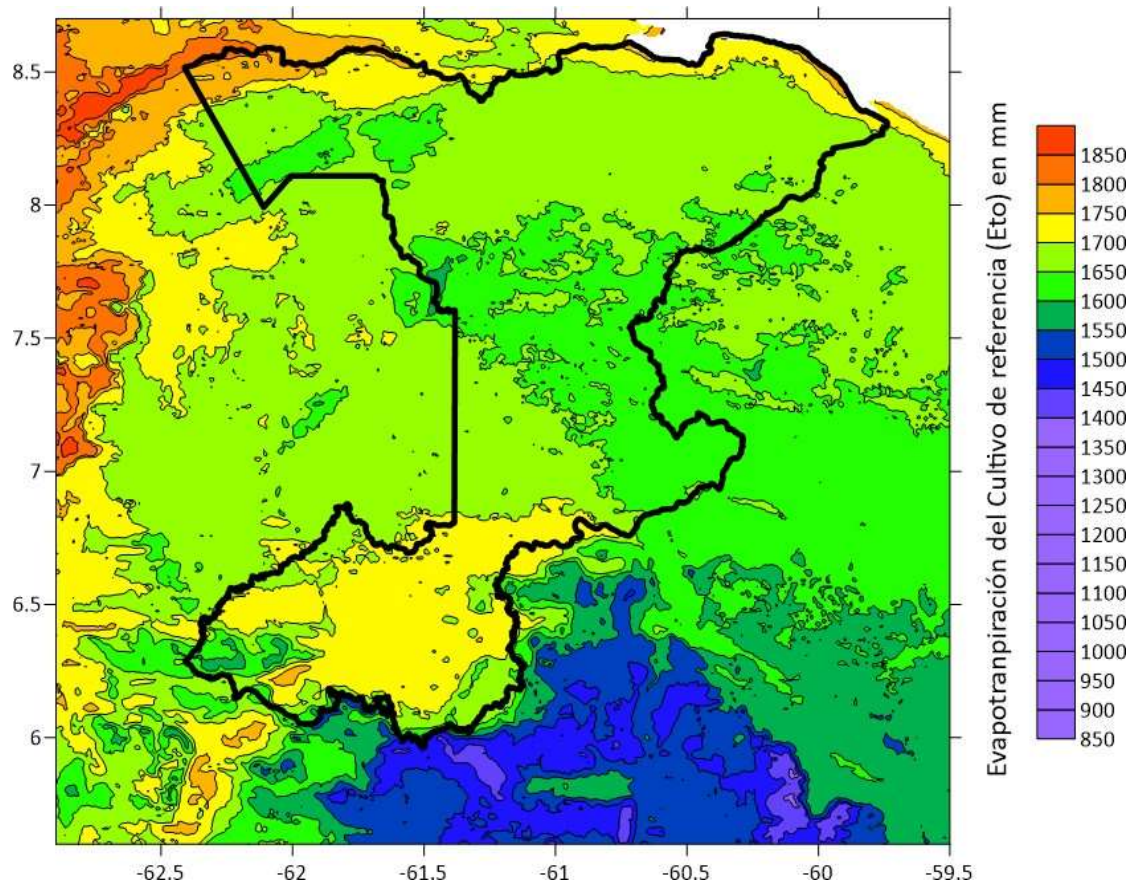


Figura 9.15. ETo para la RFI, fuente datos mundiales Trabucco y Zommer (2018). ETo promedio en RFI 1 673 mm.

5.1.3. Determinación de la evapotranspiración potencial

Obtención de los valores de coeficiente de cultivo, Kc: Los valores de los coeficientes de los cultivos son dinámicos, dependiendo de la fase de este y aun siendo cultivos perennes dependen de la fase de madurez, salud de las plantaciones y estrés hídrico, entre otros. En este sentido la FAO, dispone de un servicio de consulta mundial, en el cual se puede determinar el coeficiente de cultivo de manera indirecta a través del seguimiento de la respuesta espectral, o índice de vegetación de diferencia normalizada conocido por sus siglas en inglés como NDVI, que proporcionan los sensores remotos y que viene siendo de uso cada vez común en los estudios hidrológicos.

Así bien, para cada país, región o parcela, se puede consultar en línea la evolución de este parámetro con evolución decadal proporcionando información de alto valor (máximo, medios y mínimos) no solo al productor, sino al planificador, hidrólogo y gestor de recursos hídricos.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Dentro de las bases de datos en línea, cabe destacar:
<https://wp.agromonitoring.com/dashboard/satellite>

Otra forma, tradicional de obtención de los valores de Kc, es mediante la clasificación de coberturas, y la asignación de valores preconcebidos. Esto mediante bases de datos mundiales o a partir de la fotointerpretación de imágenes, que permite, a través de valores prefijados y tabulados de Kc de diferentes coberturas, obtener un valor ponderado de las mismas. Estos procedimientos se presentan en este aparte.

Valores de Kc espectrales y mediante bases de datos mundiales

A nivel anual, se suponen valores promedios de Kc, mediante alguna correlación numérica propuesta en la literatura, Cuesta *et al.* (2005), Mittibwa e Irmak (2013), entre otros. Para este estudio se utiliza la expresión recomendada por Cuesta *et al.* (2005), se transforma el NDVI a Kc espectral. Mediante la expresión 9.2, que se desprende de su análisis para fases desarrolladas de cultivos.

$$Kc = 1,5625 * NDVI - 0,05$$

(Ecuación 9.2)

Los valores de NDVI, se obtienen de Tabucco *et al.* (Op. Cit.) como valores promedio para el año 2000. Mediante algebra de mapas se obtienen los valores equivalentes de Kc. En promedio para la RFI, se obtiene un valor de Kc en el orden de 0,94. La Figura 9.16, muestra la representación espacial de los valores obtenidos.

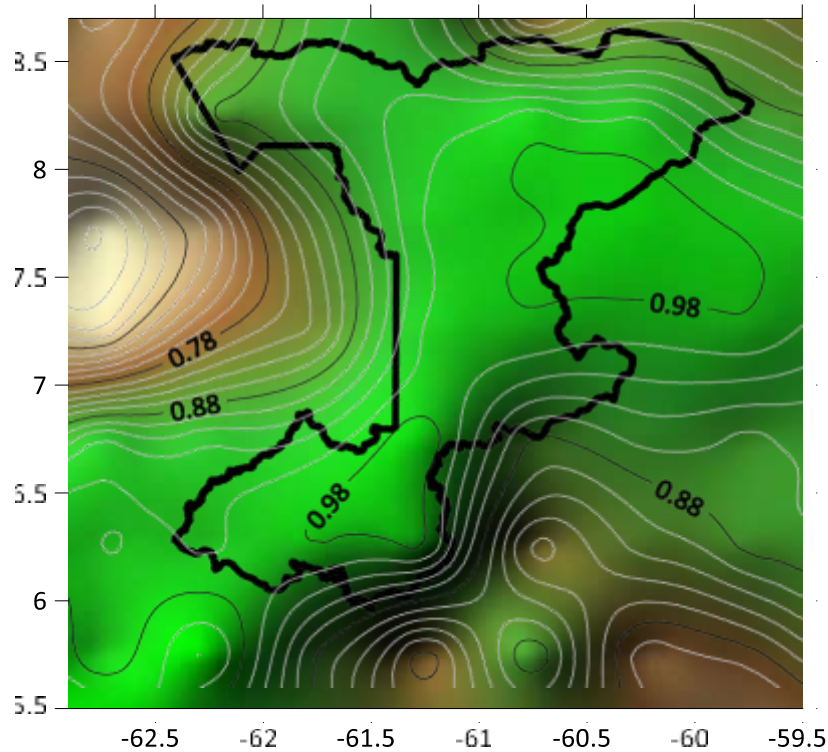


Figura 9.16. Valores de K_c espectral, obtenidos a partir de valores de NVDI. Para la RFI. Valor promedio para la Reserva 0,94.

Aproximación al K_c , mediante Clasificación de Coberturas

A partir de la base de datos de HydroBID, la cual sigue la clasificación de coberturas del USGS, para la misma, se toman aproximaciones del Allen (1998) conocido como el DOC-56 FAO, Glen *et al.* (2011), Monteiro *et al.* (2016), entre otros. Se destaca que algunas referencias como, las de Monteiro *et al.* (*Op. Cit.*), quienes utilizando seis especies tropicales representativas de la selva amazónica concluyen que para algunas especies se pueden obtener valores promedios de 0,86 con un rango entre 0,70 y 1,03. Esta referencia será útil para comparación y la validación final de resultados obtenidos en este aparte.

La Tabla 9.6, muestra los valores de K_c , asignados a cada cobertura. Clasificadas según IPCC-2003. Estas coberturas son similares a las referidas por HydroBID en la Clasificación del USGS, por lo que se podrá aplicar a ambas bases de datos.

Tabla 9.6. Valores de Kc, según las coberturas RFI clasificadas según IPCC-2003.

Categorías IPCC 2003	Subcategorías RFI	Código	Kc
Tierras forestales	Bosque deciduo estacional	Bde	0,90
	Bosque húmedo tropical	Bht	1,03
	Bosque siempreverde	Bsv	1,03
	Bosque de pantano	Bp	1,10
	Plantaciones forestales	Pf	1,00
Tierras agrícolas	Bosque degradado	Bd	0,90
	Cultivos	C	0,70
	Palmito	Pl	1,00
Pastizales (Praderas)	Herbazal	H	0,90
	Pecuario	P	0,60
Humedales	Corta fuego	Cf	0,25
	Turberas	T	1,20
Asentamientos	Ríos	R	1,05
	Asentamientos humanos	Ah	0,30
	Vialidad	V	0,10
	Minería	M	0,10
Otras tierras	Otras Coberturas	Oc	1,00

A partir de esta clasificación se encuentran los valores de Kc, obtenidos a partir de la base de datos de HydroBID, que se muestra en la Figura 9.17. Es de hacer notar que en el caso de HydroBID, se asigna una única cobertura tipo a sub-cuencas de un tamaño promedio de 80-100 km², por lo que, en algunos sectores de la RFI, se observan valores *clusters* y no necesariamente continuos con sus cuencas vecinas.

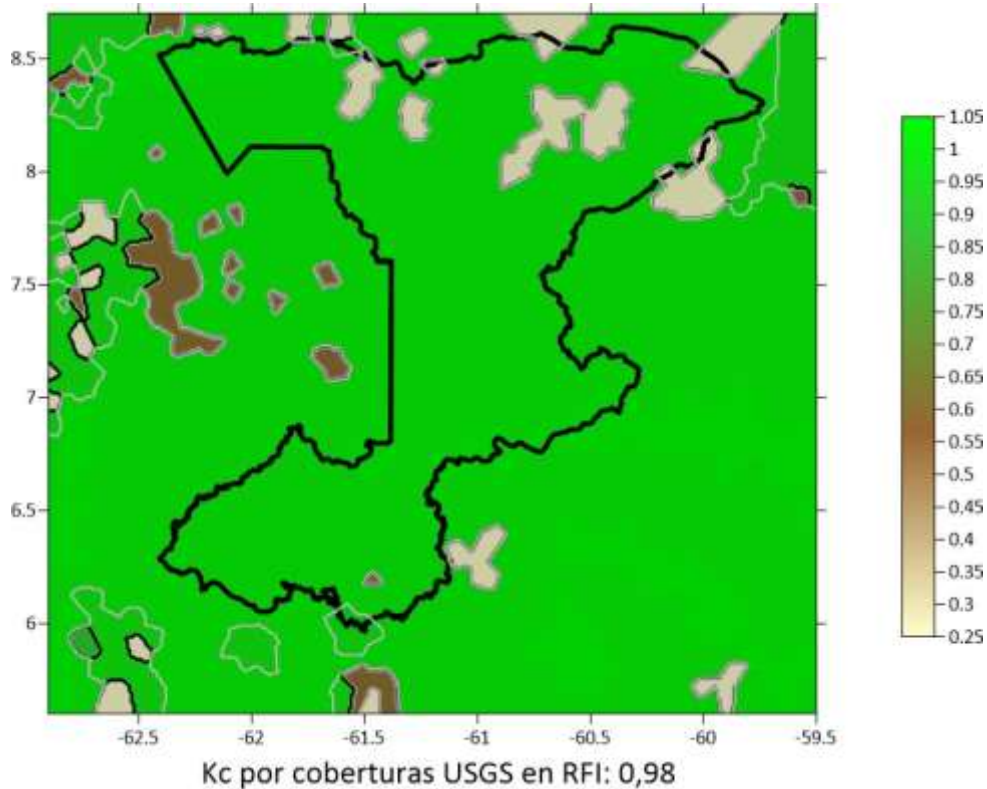


Figura 9.17. Valores del Coeficiente de Cultivo, obtenidos a partir de la clasificación de coberturas de la tierra obtenida de la base de datos de HydroBID, Kc promedio en la RFI, 0,98.

Es de hacer notar que se encuentra una diferencia relativa del 4,25%. Lo cual se considera aceptable.

Determinación del Kc promedio mediante interpretación de Imágenes

En reportes paralelos del presente estudio, se analiza las coberturas y sus cambios espacio temporales mediante el análisis de imágenes LANSAT con una resolución de píxel de 30m x 30m. Esto permite, determinar con buena precisión los cambios de usos que se produjeron en la RFI entre 2000 y 2018.

Valores de Kc, con base análisis de Coberturas, en la RFI

La clasificación de coberturas se realiza siguiendo aquellas establecida por el IPCC 2003. Se presenta igualmente la Tabla 9.7 de coberturas y su extensión. Para las épocas 2000 y 2018, en la misma se deduce que el valor de Kc ponderado para el año 2000 era $Kc=1,031$, así bien disminuyó para el año 2018 en $Kc=1,025$, lo que representa una disminución del 0,58%. Siendo el uso pecuario (58,78%), la Minería (52,92%) y los Asentamientos Urbanos (21,93%) los usos que registraron mayor aumento relativo; evidenciándose igualmente, una disminución relativa en las

coberturas, Vialidad (45,75%), Palmitos (38,27%) y Bosque deciduo (3,94%). El hecho de que haya aumentado el uso pecuario y los asentamientos urbanos ya evidencia una disminución del Kc, lo cual incide en una disminución relativa de la Evapotranspiración Potencial y un aumento probable del rendimiento hídrico, tal como se discutirá más adelante.

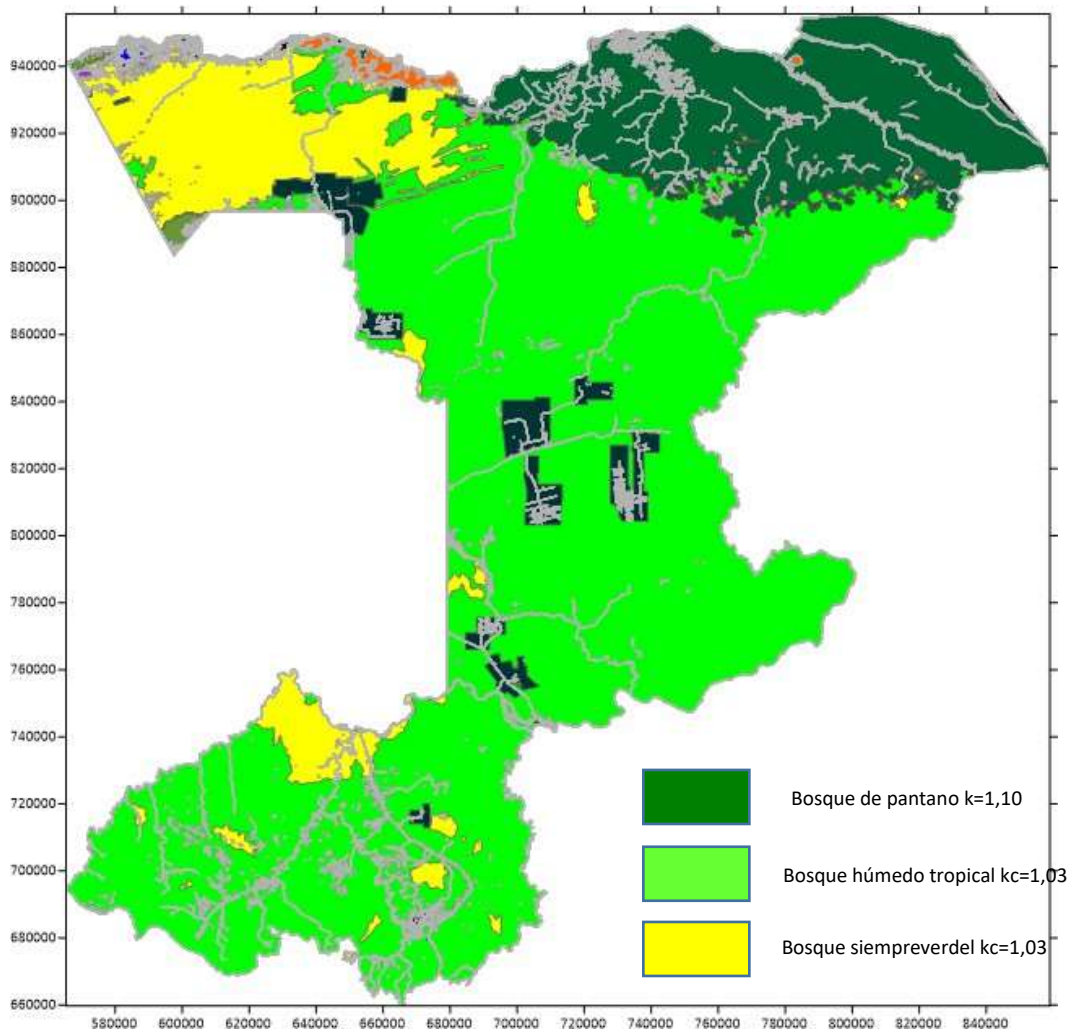


Figura 9.18. Coberturas predominantes en la RFI, levantamiento a partir de imágenes a píxel 30 x 30 m. Valor promedio de Kc = 1,031.

Tabla 9.7. Análisis de cambio de coberturas para la RFI, período 2000-2018

ID	Descripción Cobertura class_na_1	Cobertura-2000		Cobertura-2018		Análisis Cambio		Kc	Kc-2000 Pondera	Kc-2018 Pondera
		Area (ha)	Porce-rel	Area (ha)	Porce-rel	Abs (ha)	Relativo			
Ah	Asentamientos	373,0	0,01%	477,0	0,01%	105,0	21,93%	0,30	2,90E-05	3,70E-05
Bp	Bosque de pantano	616 154,0	16,13%	619 230,0	16,21%	3 076,0	0,50%	1,10	1,80E-01	1,80E-01
Bde	Bosque deciuo	10 415,0	0,27%	9 818,0	0,26%	-597,0	-6,08%	0,90	2,50E-03	2,30E-03
Bd	Bosque degradado	126 238,0	3,30%	214 267,0	5,61%	88 029,0	41,08%	0,90	3,00E-02	5,00E-02
Bht	Bosque húm. tropical	2 479 921,0	64,91%	2 385 997,0	62,45%	-93 924,0	-3,94%	1,03	6,70E-01	6,40E-01
Bsv	Bosque siempreverde	468 326,0	12,26%	454 391,0	11,89%	-13 935,0	-3,07%	1,03	1,30E-01	1,20E-01
Cf	Corta fuego	686,0	0,02%	715,0	0,02%	30,0	4,17%	0,25	4,50E-05	4,70E-05
C	Cultivos	9 119,0	0,24%	12 046,0	0,32%	2 928,0	24,30%	0,70	1,70E-03	2,20E-03
H	Herbazal	45 208,0	1,18%	45 037,0	1,18%	-171,0	-0,38%	0,90	1,10E-02	1,10E-02
M	Mineria	10 445,0	0,27%	22 185,0	0,58%	11 740,0	52,92%	0,20	5,50E-04	1,20E-03
Oc	Otras coberturas	182,0	0,00%	182,0	0,00%	0,0	0,00%	1,00	4,80E-05	4,80E-05
Pl	Palmito	11 721,0	0,31%	8 477,0	0,22%	-3 244,0	-38,27%	1,00	3,10E-03	2,20E-03
P	Pecuario	4 171,0	0,11%	10 104,0	0,26%	5 933,0	58,72%	0,60	6,50E-04	1,60E-03
Pf	Plantación forestal	2 071,0	0,05%	2 064,0	0,05%	-6,0	-0,30%	1,00	5,40E-04	5,40E-04
R	Rios	22 716,0	0,59%	22 874,0	0,60%	159,0	0,69%	1,05	6,20E-03	6,30E-03
T	Turberas	8 051,0	0,21%	9 498,0	0,25%	1 447,0	15,23%	1,20	2,50E-03	3,00E-03
V	Vialidad	4 998,0	0,13%	3 429,0	0,09%	-1 569,0	-45,75%	0,10	1,30E-04	9,00E-05
Totales		3 820 792,0		3 820 792,0				Kc	1,031	1,025

5.1.4. Valores de Evapotranspiración Potencial (ETc) o ETP

En la Figura 9.19, se presentan los valores de Evapotranspiración de los cultivos para las coberturas asignadas en la RFI con base a la clasificación de USGS. Para estos valores se encuentra una Evapotranspiración potencial para la RFI de 1 578 mm/año. En esta se destaca que los valores tipo *clúster* provienen de la clasificación original de cuencas entre áreas de 80 a 100 km².

Así bien, la Figura 9.20, muestra igualmente los valores obtenidos mediante Kc Espectral, correlación con NDVI. Los valores obtenidos mediante esta correlación son de 1 520 mm/año. Así bien, se encuentra una diferencia porcentual relativa entre ambos enfoques es del 4 % en la estimación de la ETP. El mapa final presenta una representación espacial con estructura típica de variables regionalizadas, lo que permite a su vez clasificar zonas de tendencia climática con una mayor precisión, tal como se verá más adelante para el caso de zonas de estrés meteorológico.

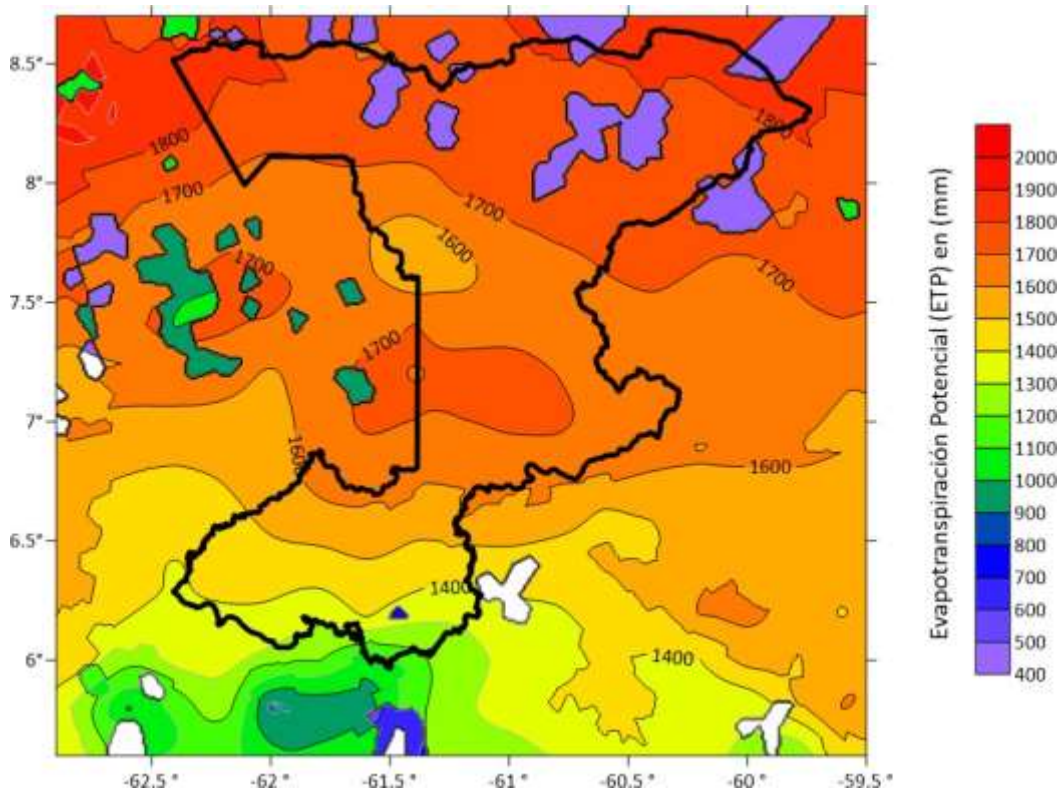


Figura 9.19. Evapotranspiración potencial (ETp) en la RFI (mm). Kc a través de coberturas USGS-HydroBID-Tool. Valor promedio para la RFI. 1 578 mm.

5.1.5. Delimitación en subcuencas para el análisis

Con base a la delimitación utilizada por la consultoría, que elabora el inventario de recursos hidráulicos para la RFI, se presentan la subdivisión en subcuencas que tienen influencia en la región, asimismo, se presenta el área y porcentaje de influencia de estas sobre el área de la RFI.

La Tabla 9.8, muestra los valores mencionados, al igual que establece los diferentes cambios en la ETp para las épocas 2000 y 2018. En la misma, se observa que la subcuenca que ha disminuido la ETp es Yuruari (2,29%), seguida por el Alto Cuyuní (1,93%) y Río Grande (1,53%), esta disminución se debe probablemente a la alta presión antrópica. Por otro lado, la subcuenca que ha aumentado la ETp, es Aguas Negras (0,02%).

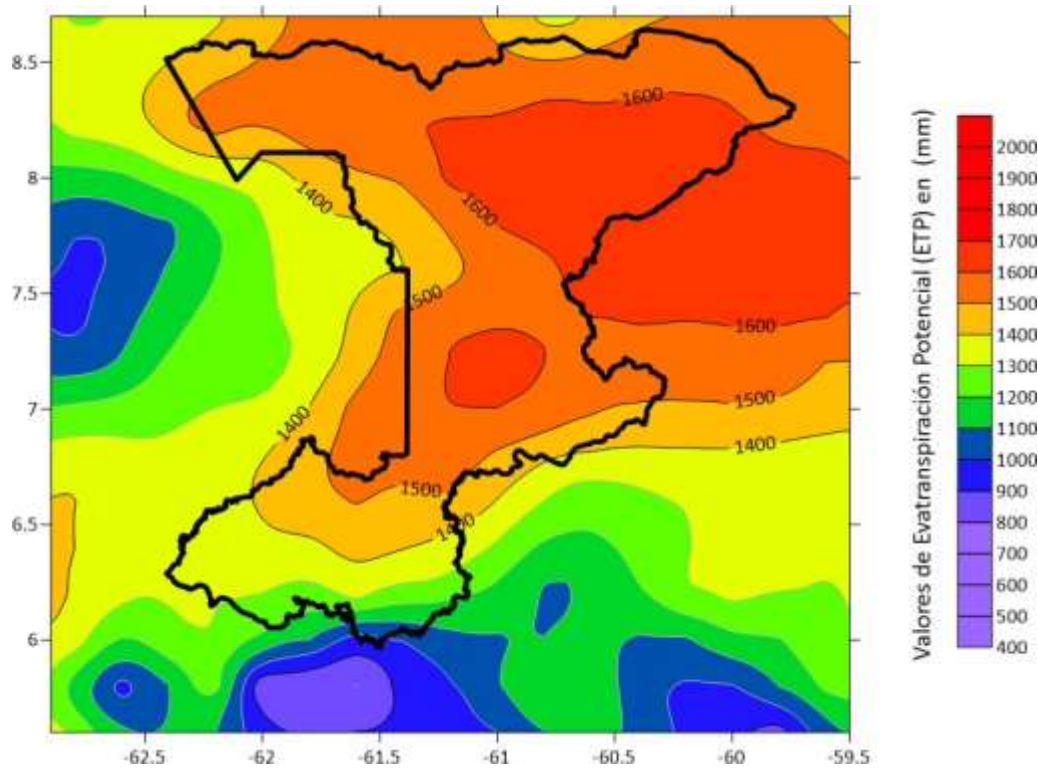


Figura 9.20. Valores de Evapotranspiración Potencial en la RFI obtenidos a partir de valores de Kc espectral. Valor promedio para la RFI, ETO: 1 520 mm.

Tabla 9.8. Cuencas para el análisis de ETP en la RFI

Sector	ID	Subcuenca	Área (km2)	% en RFI	Etp (2000)	Etp (2018)	Cambio (%)
Cuyuní	1	Yuruari	11 971,0	1,19%	1 526	1 492	-2,29%
	2	Supamo	4 666,0	1,19%	1 557	1 557	0,00%
	3	Yuruán	4 393,0	0,00%	1 479	1 479	-0,05%
	4	Alto Cuyuní	4 888,0	87,95%	1 395	1 369	-1,93%
	5	Venamo-Cuyuní	6 696,0	53,19%	1 535	1 530	-0,32%
	6	Botanamo	6 638,0	83,88%	1 655	1 641	-0,86%
	7	Moracuani	730,0	100,00%	1 670	1 670	-0,01%
	8	Aguas Negras	366,0	100,00%	1 656	1 656	0,02%
	9	Acarabisi	245,0	65,82%	1 650	1 650	0,00%
Delta Orinoco	10	Casacoima Sta Catalina	1 724,0	95,18%	1 758	1 754	-0,23%
	11	Río Grande	3 216,0	78,03%	1 676	1 651	-1,51%
	12	Aguirre	4 486,0	100,00%	1 700	1 694	-0,35%
	13	Coyubuní	11 374,0	95,66%	1 782	1 780	-0,13%

Introducción Análisis de Aridez: Se presenta un breve análisis del coeficiente de aridez, para expresar la presencia de un bolsón seco o de baja precipitación que involucra a la RFI, este análisis antecede a los resultados de producción de las subcuencas que se presenta más adelante.

Se utilizan 4 Índices de Aridez para caracterizar el comportamiento climático de la RFI, Figura 9.21, en la cual se toma la cuenca del río Yuruari como representativa de esa condición. Los índices utilizados son: Lang, Martonne, Martin y Revenga y ONU. Aunque los tres primeros, utilizan la relación precipitación sobre temperatura, el último de la ONU (1999) citado por Trabucco (2018) es de más creciente utilización.

Las zonas limitadas por curva en negrita, se definen como semi-áridas o secas según las diferentes clasificaciones. Se muestra igualmente la ubicación de la cuenca del río Yuruari, con respecto a la zona y la RFI. De esta se desprende, que existe una región definida por los primeros tres índices que expresan un bolsón seco o semiárido en la RFI que pudiera representar aproximadamente el 30% de la misma. Aunque según el índice de la ONU, esta área pudiera ser menor. En todo caso, las pocas mediciones que se poseen en la cuenca del río Yuruari, pudieran arrojar una idea de la producción anual en esta zona.

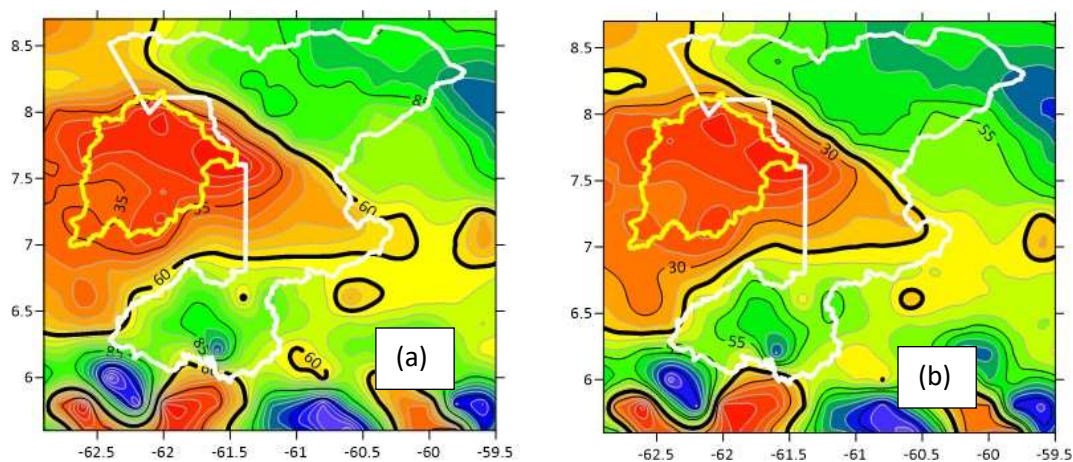


Figura 9.21. Índices de aridez para caracterizar el comportamiento climático de la RFI. Valores inferiores a la curva en negrita indican zonas semiáridas o secas. (a) Índice de Lang (b) Índice de Martonne;

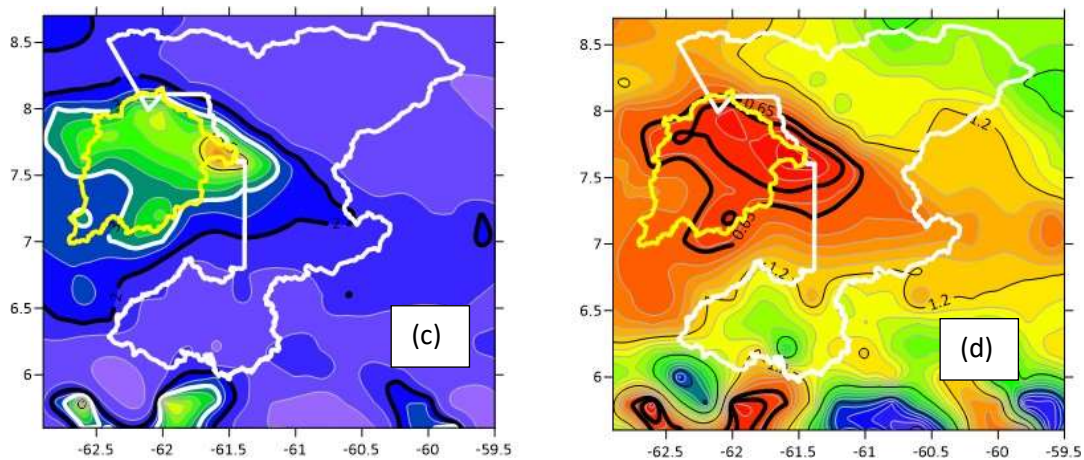


Figura 9.21 (continuación). Índices de aridez para caracterizar el comportamiento climático de la RFI. Valores inferiores a la curva en negrita indican zonas semiáridas o secas. (c) Índice de Martin y Revenga (d) Índice ONU Trabucco (2018).

5.1.6. Determinación del rendimiento hídrico anual en la RFI

El servicio ecosistémico de rendimiento hídrico de la RFI, es de vital importancia. Sin embargo, tal como se recalca en este trabajo, las estaciones de medición que se poseen contienen pocos años de registro; para que se pudieran considerar estas mediciones representativas de sus cuencas. Sin embargo, existen procedimientos metodológicos anuales y estacionales que permiten tener una buena idea de los órdenes de magnitud involucrados. Es por esto por lo que se realiza la estimación de este a nivel anual y se compara con otras fuentes de información, tales como, balances globales mediante sensores remotos para realizar su comparación.

Es conveniente destacar, en sintonía con lo expresado por Lovera *et al.* (2018), que un aumento en el rendimiento hídrico anual (RH) no significa una condición favorable para una zona forestal, al contrario, significa pérdida de cobertura y en consecuencia disminución de K_c , lo cual a su vez, mitiga los efectos evapotranspirativos de la vegetación; dejando más agua libre capaz de convertirse en escorrentía rápida, lo cual, incide en un aumento de los balances anuales de escurrimiento; y a la vez, en una disminución de la capacidad de regulación de flujos a largo plazo o escorrentía lenta. Esto finalmente incidirá en la disminución del mantenimiento de caudales bases del bosque.

Los modelos interanuales al no tomar la influencia de almacenamientos estacionales, no tienen capacidad matemática de predecir este efecto. Sin embargo, a escalas diarias; y algunas formulaciones a escala mensual, sí lo pueden realizar; siempre y cuando consideren en su formulación la influencia de la vegetación en el retardo y la infiltración de flujos al sistema hidrológico.

Finalmente, para realizar afirmaciones categóricas de la influencia de bosque en procesos lentos, intercepción y estacionales, se requiere de mediciones y corroboraciones con estaciones de medición en tierra para períodos significativos, de más de 20 a 30 años.

Lo anterior no implica que no se puedan realizar estimaciones globales a nivel anual, y estacional, esta estimación es lo que ocupa al presente aparte.

Así pues, una vez obtenidos la precipitación anual, se suponen que el almacenamiento en el suelo tiende a cero en la escala anual Yu *et al.* (2013), entre otros. Esto permite establecer la siguiente Ecuación (9.3) de rendimiento anual.

$$\frac{Y_{\text{anual}}}{P_{\text{anual}}} = 1 - \frac{ETR_{\text{anual}}}{P_{\text{anual}}} \quad (\text{Ecuación 9.3})$$

Donde:

Y_{anual} es el rendimiento en mm,

P_{anual} es la precipitación media,

ETR_{anual} es la Evapotranspiración real a escalas temporales anuales.

Ahora bien, para expresar la relación entre la ETR y la Precipitación anual se han propuesto diversas expresiones, en las que destaca la de Budyko, propuesta por Sharp *et al.* en InVEST 3.2.8 (2018) que ha sido motivo de análisis para el estudio de balances hídricos en casos a nivel mundial, Terrado *et al.* (2014), Hamel y Guswa (2015). Así bien con la finalidad de analizar el rendimiento hídrico (RH) en la RFI, se utilizará InVEST.

La expresión de Budyko, se presenta en la Ecuación 9.4.

$$\frac{ETR_{\text{anual}}}{P_{\text{anual}}} = 1 - \frac{ETP_{\text{anual}}}{P_{\text{anual}}} + \frac{ETP_{\text{anual}}}{P_{\text{anual}}} \left(\frac{W}{W + P_{\text{anual}}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 9.4})$$

Donde:

W es un parámetro biofísico adimensional que se estima en función a las características de la cuenca.

Se han propuesto diversas formulaciones para la estimación de W , sin embargo, Xu *et al.* (Op cit.) analizando bases de cuencas en el planeta, encuentran regresiones en las cuales, se toma en cuenta como variables relevantes, la ubicación espacial de la cuenca, el índice topográfico (CTI), la pendiente media de la cuenca, y el índice del NDVI. De las propuestas por Xu *et al.* (Op. Cit.),



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



se toma aquella para grandes cuencas debido a que se adapta a la zona estudiada como se discutirá más adelante. La referida expresión, se presenta en la Ecuación 9.5.

$$w = 0,69387 - 0,01042 * \text{Lat} + 2,81063 * \text{NVDI} + 0,0146186 * \text{CTI}$$

(Ecuación 9.5)

Donde:

Lat: coordenada geográfica del centroide de la cuenca,

NVDI: índice de diferencia de vegetación normalizado,

CTI: índice topográfico.

Aunque Xu *et al.* (*Op. Cit.*), proponen mapas mundiales, mediante esta regresión se pueden encontrar valores de w mejores adaptados a las condiciones de la cuenca. El Valor de NVDI, se obtiene de Copernicus (2019) (<https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi>) base de datos en sus versiones 2.1 y 2.2 y se compara en orden de magnitud con el decadal presentado por FAO (http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=es) y el de CTI de Matheus et al (2015) quienes ponen a disposición, un modelo a resolución de un segundo de arco (aproximadamente 30 m) para todo el planeta.

Con base en la expresión de Budyko, se encuentra que w arroja un valor de 2,38 (lat: 7,54, CTI: 6,24 y NVDI: 0,595) para toda la RFI asumiéndola como un gran conjunto de cuencas, el cual se compara con los históricos obtenidos para la cuenca del río Yuruari que es de 2,69, el del río Cuyuní en el Dorado que es de 1,65 y el de Río Grande de 1,76.

Aunque los valores históricos de W , se desprenden de estaciones hidrométricas se recalca que: (a) sus periodos de medición son muy cortos para considerarlos representativos históricos para la RFI, (b) las cuencas aportantes de los ríos con medición cubren parte de la extensión de la Reserva (c) gran parte del desarrollo de las cuencas de los ríos de estas estaciones se ubican en zonas semiáridas o secas. Razones por las cuales se tomarán en cuenta para efectos del presente estudio, sólo como una indicación del orden de magnitud de W .

Habida cuenta de la alta sensibilidad de W a las condiciones climáticas, Donohue *et al.* (2012) y Sharp *et al.* (2018) en InVEST, modelo que se ha utilizado a nivel mundial para la evaluación de los servicios ecosistémicos de Rendimiento Hídrico (RH), ejemplos de su utilización, en China y México son citados: Lovera *et al.* (2018), Gáspari et al (2015) en Argentina, Cárdenas (2016) Colombia, para la valoración de servicios ecosistémicos en el corredor amazónico trinacional Colombia, Ecuador y Perú; Pacha (2014) y Recalde (2018) en Ecuador; entre otros ejemplos.

InVEST, incorpora la utilización de una constante empírica Z , denominada constante estacional de precipitación. Lovera *et al.* (*Op. Cit.*) Ecuación 9.6, que toma en cuenta la variabilidad espacial y estacional del rendimiento en función al parámetro de Budyko; definiendo un valor de $w(x)$ como parámetro biofísico que relaciona clima y suelo, es decir, relaciona el agua disponible para la planta o cultivo (AWC) y la precipitación anual.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



AWC, depende la profundidad de suelo, raíces y textura de este. Este se toma para el presente estudio de la base de datos AHDtool de HydroBID, el cual ya viene precalibrado para toda la región de América Latina y el Caribe (ALC); y se estima a partir de las bases de datos internacionales de suelos.

$$W_{\tilde{x}} = Z * \frac{AWC(x)}{P(x)} + 125$$

(Ecuación 9.6)

Se recomienda que se determine un valor base de W , y este se ajuste para cada píxel. Así, para la RFI se tiene que $W = 2.4$, Xu *et al.* (Op Cit), $AWC = 141$ mm, $P = 1800$ mm; obteniéndose $Z \sim 15$.

A partir del valor de Z , se encuentran, mediante InVEST, los de $W(x)$ y los correspondientes al rendimiento $Y(x)$ en mm para cada píxel de la RFI.

Como mapa para la determinación de K_c , se toma el correspondiente a los levantamientos detallados de cobertura, referidos al componente uso de la tierra del presente estudio. Se analizan dos escenarios a) el de coberturas del año 2000 y b) aquel correspondiente al levantamiento de las coberturas del 2018.

La Figura 9.22, muestra la división de subcuencas que se toma en acuerdo con la consultoría, Inventario de Recursos Hidráulicos en la RFI, realizada en el marco del presente proyecto. Se clasifican 13 subcuencas pertenecientes al Delta-Orinoco y Río Cuyuní. La Tabla 9.9, muestra la identificación de cada subcuenca, así como, el porcentaje que cada una contiene en la RFI.

Para el caso del rendimiento hídrico (Y), se analiza la misma con respecto al cambio de cobertura y en consecuencia en el valor de Kc, asociado a la misma. De esta manera, un análisis de elasticidad, con respecto al Rendimiento Hídrico se puede definir como:

$$e(Y) = (D\% \text{rel } (Y)) / (D\% \text{rel } Kc) \quad (\text{Ecuación 9.7})$$

Con base en lo anterior, los datos de la Tabla 9.9, expresan un aumento del rendimiento hídrico para la cuenca de la RFI del 1,39%, debido a que se toma en consideración estacionalidad en las variables, meteorológicas, y solo el cambio se observa en el Kc. (0,58%) esto implica una alta elasticidad e(Y) en el RH, con respecto a los cambios observados de cobertura situándose la misma en valores superiores a 2,35. Este resultado revela la alta sensibilidad y el alto valor del bosque sobre los recursos hídricos.

Otro resultado relevante es su papel en cuencas semi-áridas o de baja producción como lo es la cuenca del río Cuyuní, la cual, con solo una variación de los valores de Kc en 2,29%, logran una variación en RH en un 12,9%. Arrojando una elasticidad de 5,63.

Es importante mencionar los trabajos pioneros de Boch y Hewlett (1982) y aquellos citados en la Literatura Clásica Alder-Maidment (1998), en los cuales las elasticidades de aumento de rendimiento (Y) con relación a los cambios en coberturas se sitúan en entre 2,85 a 3,0.

Tabla 9.9. Rendimiento Hídrico en la RFI para Años 2000 y 2018. Salidas de InVEST

Sector	ID	Subcuenca	Area (km2)	% en RFI	Rendimiento Año 2000		Rendimiento Año 2018		Y(%)
					Y(mm)	Y(l/s/km2)	Y(mm)	Y(l/s/km2)	Cambio (%)
Cuyuní	1	Yuruari	11971	1.19%	14.6	0.46	16.5	0.52	12.9%
	2	Supamo	4666	1.19%	863.5	27.38	863.5	27.38	0.0%
	3	Yuruán	4393	0.00%	438.4	13.90	439.1	13.92	0.2%
	4	Alto Cuyuní	4888	87.95%	651.9	20.67	680.0	21.56	4.3%
	5	Venamo-Cuyuní	6696	53.19%	387.0	12.27	391.4	12.41	1.1%
	6	Botanamo	6638	83.88%	94.6	3.00	95.1	3.02	0.5%
	7	Moracuani	730	100.00%	109.9	3.48	109.9	3.48	0.0%
	8	Aguas Negras	366	100.00%	152.9	4.85	152.6	4.84	-0.2%
	9	Acarabisi	245	65.82%	168.9	5.36	168.9	5.36	0.0%
Delta	10	Casacoima Sta Caralina	1724	95.18%	166.6	5.28	168.1	5.33	0.9%
	11	Río Grande	3216	78.03%	364.2	11.55	379.3	12.03	4.2%
	12	Aguirre	4486	100.00%	389.5	12.35	390.7	12.39	0.3%
	13	Coyubuní	11374	95.66%	525.7	16.67	526.1	16.68	0.1%
Totales					394.6	9.80	400.1	9.92	1.39%

Por otro lado, la Cuenca del Alto Cuyuní, que disminuye su Kc en 1,93%, presenta una variación en rendimiento del 4,2%. Estimándose una elasticidad de más del 2,18.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los resultados anteriores revelan tres aspectos muy importantes sobre el papel de la Reserva Forestal sobre el rendimiento hídrico y el servicio ecosistémico que esta presta.

- El cambio de cobertura tendrá un mayor impacto en cuencas con bajo rendimiento hídrico y sobre la provisión a largo plazo y mantenimiento de caudales de estiaje.
- Un aumento en el rendimiento anual no significa un impacto positivo, sino al contrario la posibilidad de aumento en los flujos rápidos, los cuales incrementan la posibilidad de producción de sedimentos, una evidente disminución de la capacidad de infiltración y en consecuencia final, una disminución en el mantenimiento de los flujos base a mediano y largo plazo a nivel de grandes cuencas, lo que implica mayor estrés a los sistemas ecológicos considerados.
- La incidencia del bosque sobre la calidad del agua, y la disminución de producción de sedimentos, ha sido bien determinada Hamilton *et al.* (2009). Sin embargo, los efectos sobre los RH a largo plazo, los procesos de retención y mantenimiento de flujos base a mediano y largo plazo es aún incipiente y requiere sobre todo de mediciones sistemáticas y consistentes en estaciones en tierra; además, de una mejora en los modelos conceptuales, matemáticos y numéricos contemporáneos que se apoyen en dichas mediciones; y que necesariamente deben estar acompañados del creciente desarrollo mundial de tecnologías de percepción remota, la cual, se valida precisamente con datos levantados en estaciones en tierra.

De manera similar la Figura 9.23, muestra los rendimientos espaciales para cada una de las subcuencas consideradas.

Es conveniente resaltar igualmente, que los resultados encontrados, logran representar la variabilidad espacial de los mayores rendimientos en las zonas NorEste, cuencas de Aguirre (12,39 l/s/km²) y Coyubuni (16,68 l/s/km²); y las situadas SurOeste de la Reserva, cuencas Alto Cuyuní (21,56 l/s/km²) y Venamo-Cuyuní (12,41 l/s/km²).

De igual manera se observa una zona de bajo rendimiento en su centro, representadas por las cuencas de Yuruari (0,52 l/s/km²) y Botanamo (3,02 l/s/km²), tal como se observa en la Figura 9.23; la cual coincide con la zona de semiaridez anteriormente expresada en los diferentes índices calculados para la RFI.

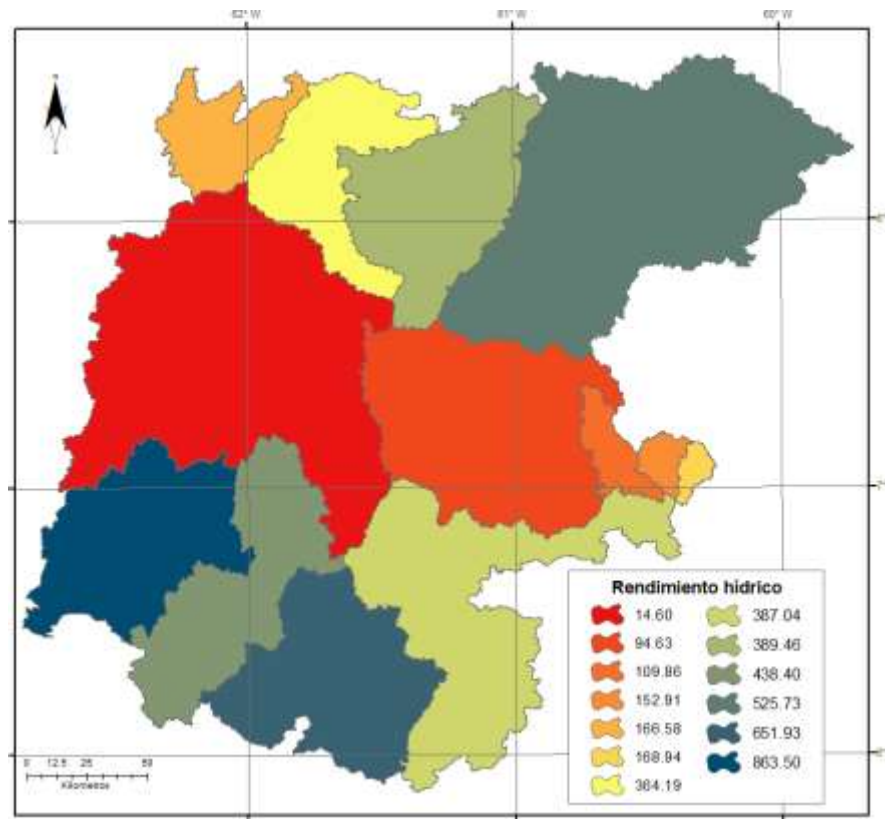


Figura 9.23. Rendimiento o producción anual en mm para las subcuencas de la RFI. Algoritmo de Budyko. InVEST Año. 2000.

5.1.7. Análisis de incertidumbre de los valores encontrados de rendimiento hídrico

Con base en la expresión de Budyko, dos parámetros son de especial interés, W y Z que depende a su vez de la precipitación P, AWC. Ahora bien, Xu *et al.* (*Op Cit.*) propone otras expresiones que arrojan para la RFI valores de W en el orden de cuatro (4) a seis (6) según la correlación para la magnitud de la cuenca considerada. Por otro, lado los valores de AWC, son precalibrados y pudieran variar, para las condiciones generales de la RFI en al menos 25%, asimismo el máximo valor de Z que se admite en la metodología presentada por InVEST para Z es de 30. Se realiza la simulación con InVEST para este valor, obteniéndose un rendimiento en la RFI de 395 mm/año. Lo que expresa, para los parámetros dados, la baja sensibilidad al valor de Z.

Se concluye igualmente, que aunque pudieran utilizarse otros métodos para la estimación de la ETR, tales como el algoritmo de SAFER, utilizada por Teixeira *et al.* (2018) para la zona semiárida de Brasil, o Thornwhite entre otros; la mejor forma de minimizar estos niveles de incertidumbre es reinstalando el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos.

5.1.8. Referencias mundiales de rendimiento para la RFI.

Finalmente, con la finalidad de comparar los resultados de rendimiento hídrico obtenidos con InVEST con datos mundiales disponibles, se presentan aquellos efectuados por Rodell *et al.* (2015) y los publicados en el portal de ESRI, que toma en cuenta datos del Proyecto GLDAS 2.1 de la NASA, descrito por Rodell *et al.* (*Op Cit.*). Los mismos se presentan en la Figura 9.24.

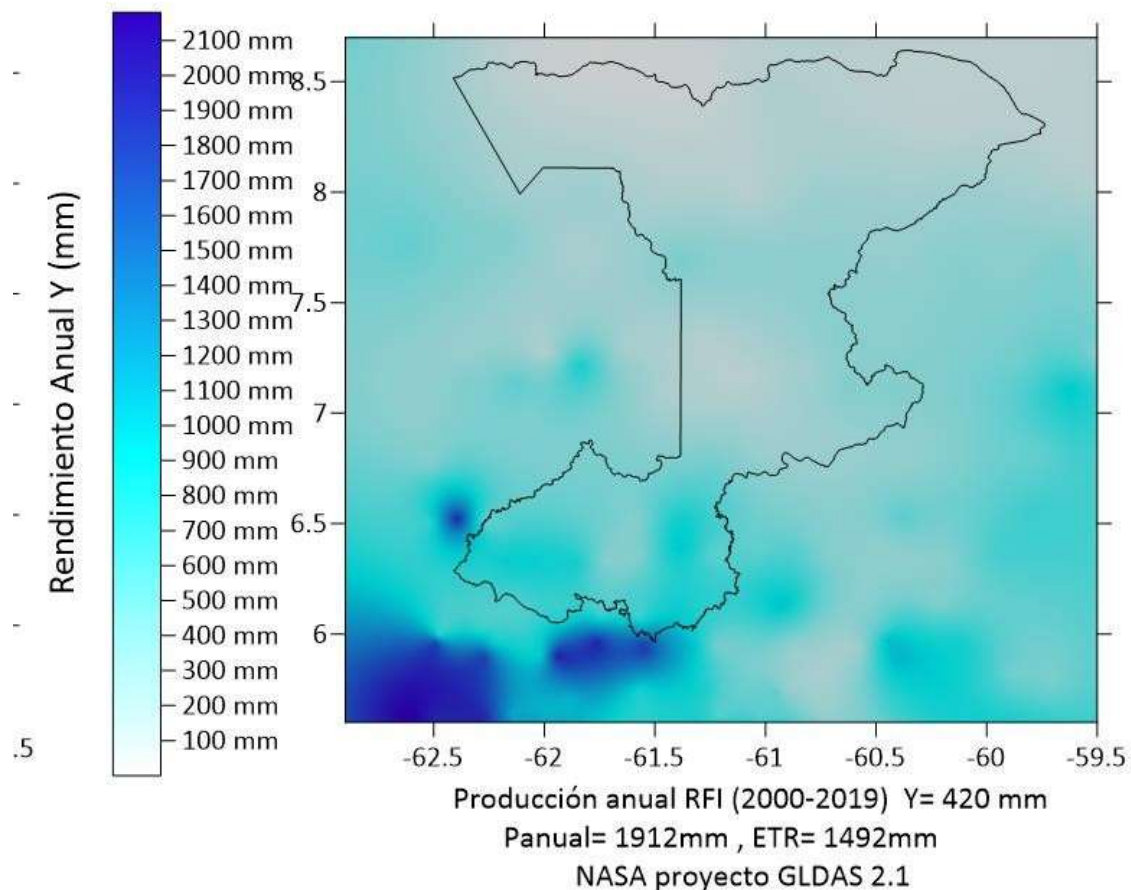


Figura 9.24. Variabilidad espacial del rendimiento anual en la RFI con datos mundiales, Rodell *et al.* NASA (2015).

Si se comparan los rendimientos promedios arrojados por NASA (420 mm), y los obtenidos mediante InVEST, con valores pseudo-históricos para 2018 (401 mm), se encuentra, que estos difieren en solo un 4,7%. Esta diferencia poco significativa da pie a que se puedan tomar los datos aportados por GLDAS-NASA, para los años 2000-2018, en periodos mensuales como representativos de la dinámica estacional de la RFI.

5.1.9. Variabilidad estacional del flujo

Se analiza la base de datos que arroja la NASA, y se procesan los datos mensuales para el período desde enero de 2000 hasta mayo 2019 en una malla de $0,25 \times 0,25^\circ$. Este promedio anual de simulaciones para 20 años se reprocessa de manera espacial utilizando técnicas de *krigeado* para minimizar la varianza de las estimaciones. Los resultados se muestran en la Figura 9.25, donde los meses más secos se presentan en marzo y abril, obteniéndose un rendimiento de tan solo 3 mm para estos meses en la RFI. Es de hacer notar que la cuenca de Yuruari presenta valores inferiores o similares para los mismos meses.

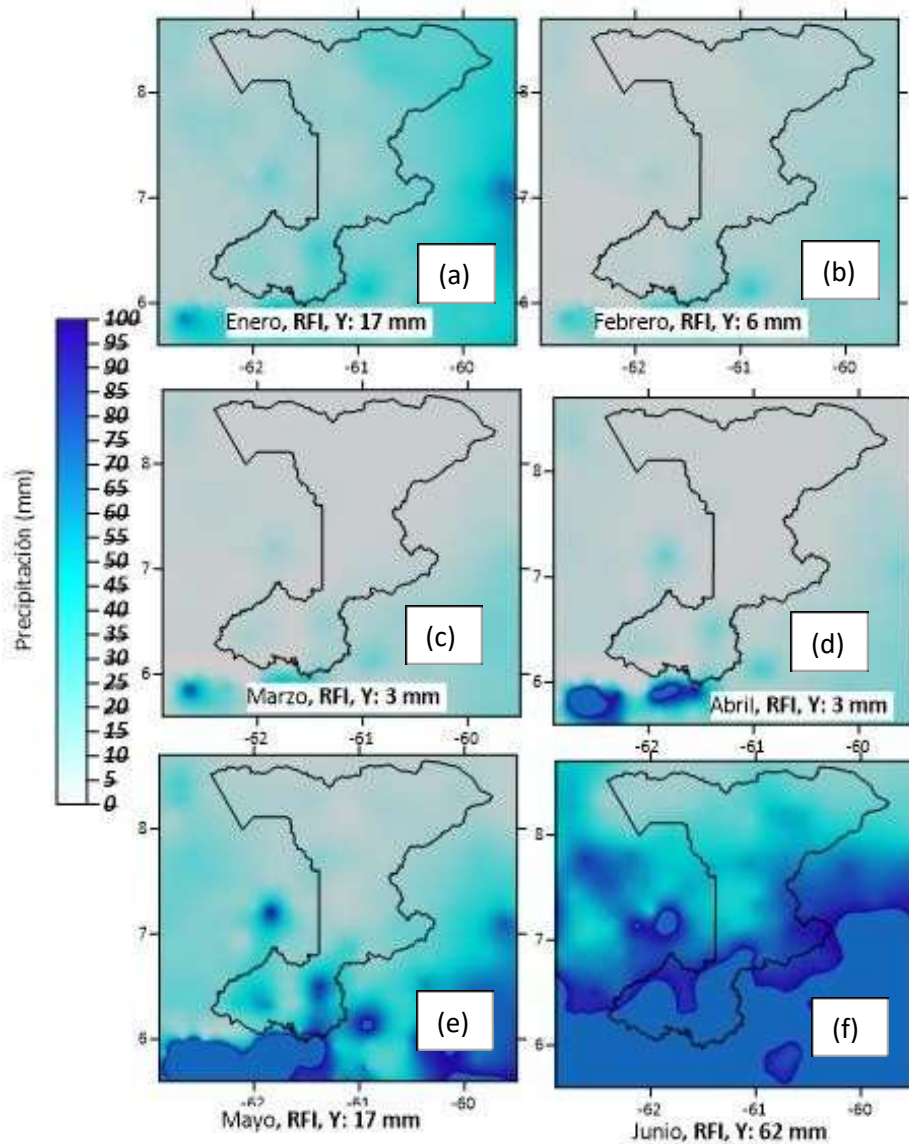


Figura 9.25. Variación estacional del rendimiento hídrico para la RFI. Mapas de rendimiento de (a) Enero a (f) Junio.

De igual manera se presenta el rendimiento de la RFI para los meses de julio y diciembre en la Figura 9.26.

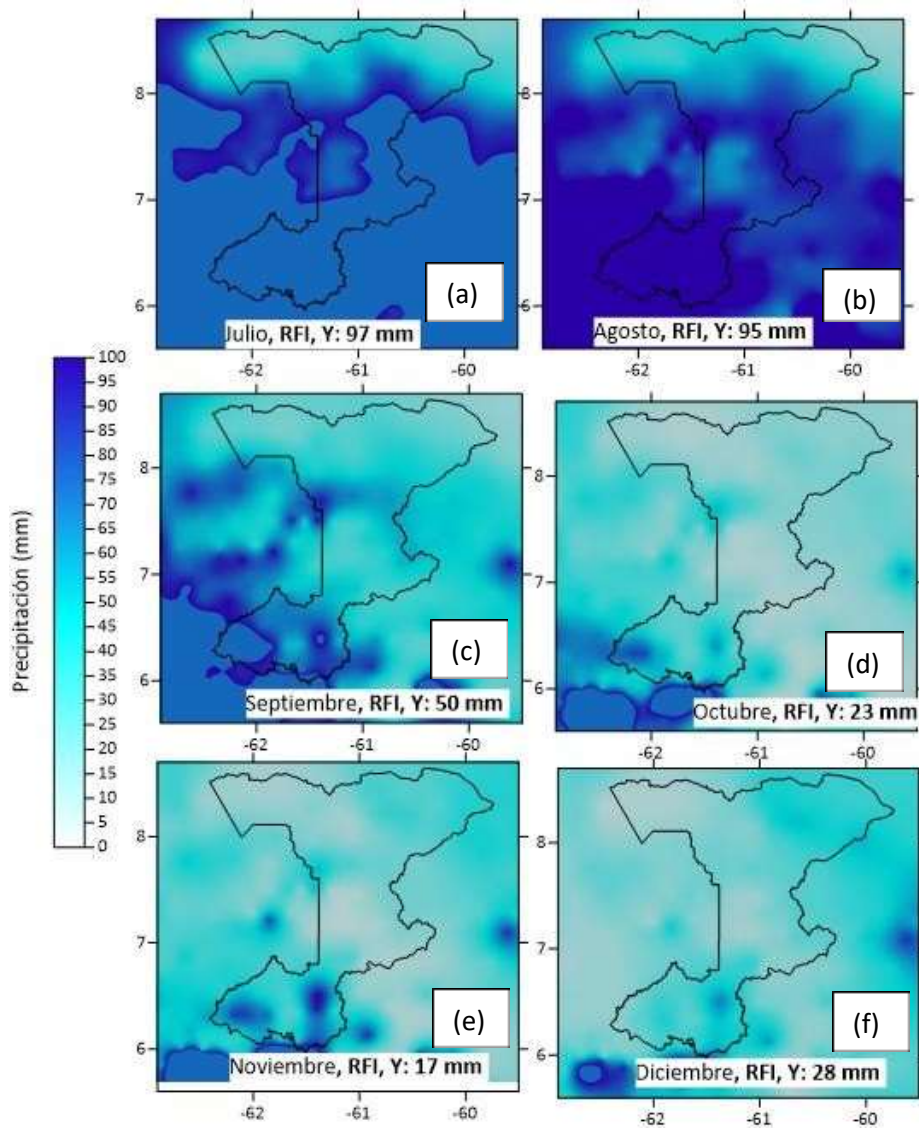


Figura 9.26. Rendimiento de la RFI para los meses de (a) Julio a (f) Diciembre

Por otro lado, la simulación presentada por el proyecto GLDAS 2.1 de la NASA, logra explicar la aparición de centros de tormenta al sur de la RFI, obteniéndose valores de flujo un poco más cercanos a los registrados por las estaciones de aforo en su breve periodo de medición.

Finalmente, se comparan los valores mensuales con los históricos registrados por las estaciones hidrométricas de la zona, a saber: Yuruari en El Callao (0653), Cuyuní en el Dorado (0788) y Río Grande en el Palmar (0641). En la Figura 9.27 se muestra Rendimiento mensual medido para la Cuenca del río Grande (669 mm), Cuenca del río Yuruari (216 mm), Cuenca del río Cuyuní en el Dorado (576 mm). Comparados con el Simulado (2000-2019) NASA para la RFI (420 mm)

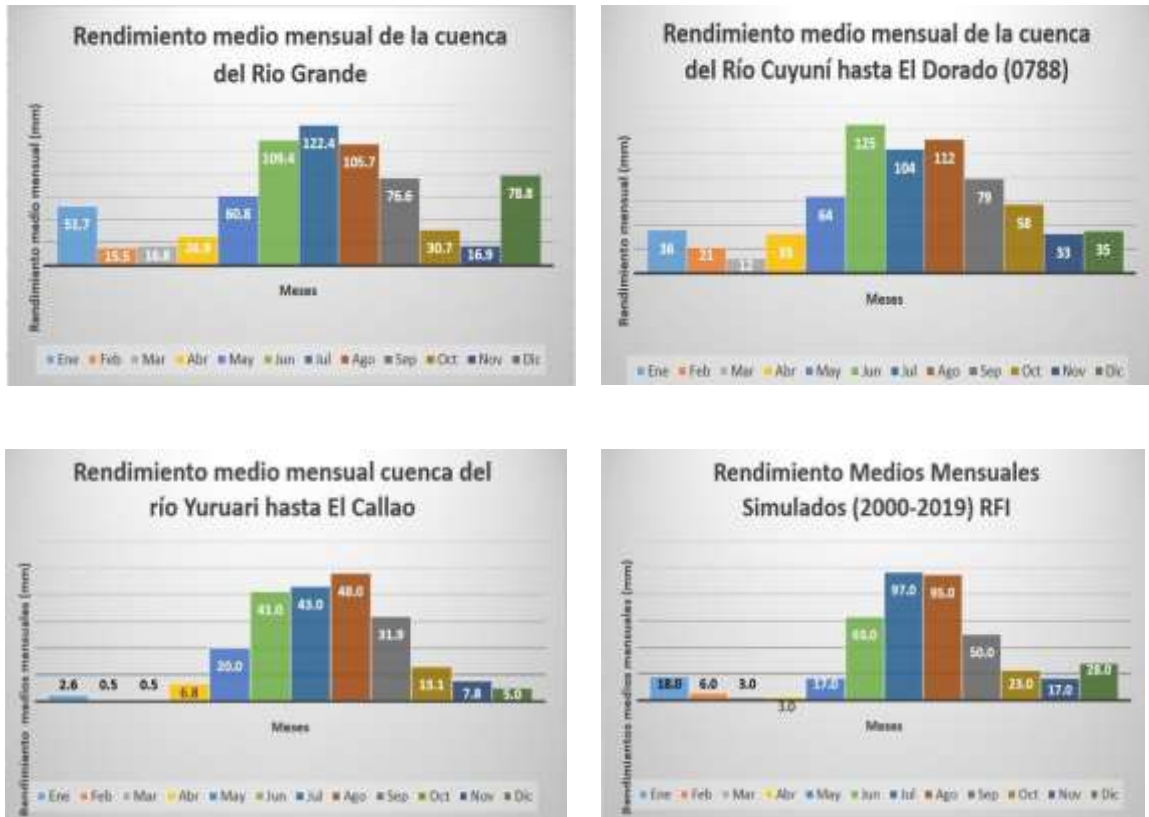


Figura 9.27. Rendimiento mensual medido para la Cuenca del río Grande (669 mm), Cuenca del río Yuruari (216 mm), Cuenca del río Cuyuní en el Dorado (576 mm). Comparados con el Simulado (2000-2019) NASA para la RFI (420 mm)

La simulación, logra reproducir los flujos en meses secos (febrero-abril) y los húmedos (junio-agosto) medidos por las estaciones de la región; así como, los pequeños aumentos en el mes de diciembre.

5.1.10. Rendimientos hídricos por coberturas y su variación temporal

Una vez establecidos los órdenes de magnitud del rendimiento y validados estos resultados a partir de su comparación con estimaciones mundiales de fuentes robustas (Rodell et al, Op. Cit.), para la RFI, se procede al análisis del rendimiento hídrico por coberturas.



Su determinación es de especial importancia debido a que se utiliza como información de base para la valoración económica del RH en la RFI.

Con base en lo anterior, se analizan los rendimientos por coberturas levantados a partir de la observación de imágenes, para las Épocas 2000 y 2018. El procesamiento de los resultados obtenidos por InVEST, se presentan en la Tabla 9.10.

Tabla 9.10. Rendimiento hídrico total año y promedio por hectárea año para las categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000 y 2018.

Categorías	Año 2000		Año 2018	
	m3/año	m3/ha/año	m3/año	m3/ha/año
Asentamientos	5 579 704,67	14 971,01	7 269 247,21	15 226,71
Bosque de inundacion mareal	89 656 794,65	7 649,48	65 605 671,88	7 739,66
Bosque de pantano	3 741 585 642,93	6 072,49	3 760 503 185,46	6 072,87
Bosque deciduo	6 102 417,86	585,92	5 825 101,91	593,32
Bosque degradado	210 904 478,28	1 670,69	371 641 900,97	1 734,48
Bosque húmedo tropical	8 696 947 255,96	3 506,95	8 537 191 793,90	3 578,04
Bosque siempreverde	1 524 477 710,38	3 255,17	1 477 706 798,64	3 252,06
Corta fuego	10 802 648,01	15 758,51	11 205 954,16	15 665,45
Cultivos	41 517 461,59	4 552,96	54 302 634,11	4 507,79
Herbazal	289 917 269,39	6 412,98	288 132 361,97	6 397,68
Minería	193 348 702,23	18 510,94	415 145 880,21	18 712,96
Otras coberturas	2 936 390,50	16 152,63	2 936 390,5	16 152,63
Pecuario	17 147 053,01	4 111,27	45 089 260,88	4 462,63
Plantacion forestal	2 875 412,36	1 388,68	2 867 560,78	1 389,00
Rios	348 768 083,29	15 353,54	350 520 943,66	15 323,73
Turberas	19 655 401,58	2 441,36	22 080 888,92	2 324,90
Vialidad	62 005 640,85	12 406,06	7 269 247,21	15 226,71
Total	15 264 228 067,54	3 995,043	15 461 851 003,37	4 046,77

De acuerdo a los resultados, se concluye que es conveniente destacar, en sintonía con lo expresado por Lovera, *et al.* (2018), que un aumento en el rendimiento hídrico anual (RH) no significa una condición favorable para una zona forestal, al contrario, significa pérdida de cobertura y en consecuencia disminución de Kc, lo cual a su vez mitiga los efectos evapotranspirativos de la vegetación; dejando más agua libre capaz de convertirse en escorrentía rápida, lo cual, incide en un aumento de los balances anuales de escurrimiento; y a la vez, en una disminución de la capacidad de regulación de flujos a largo plazo o escorrentía lenta. Esto



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



finalmente incidirá en la disminución del mantenimiento de caudales bases del bosque. Lo que puede incidir en menor agua en los cauces en el verano.

Por otro lado, se resalta lo siguiente:

- El cambio de cobertura tendrá un mayor impacto en cuencas con bajo rendimiento hídrico y sobre la provisión a largo plazo y mantenimiento de caudales de estiaje.
- Un aumento en el rendimiento anual no significa un impacto positivo, sino al contrario la posibilidad de aumento en los flujos rápidos, los cuales incrementan la posibilidad de producción de sedimentos, una evidente disminución de la capacidad de infiltración y en consecuencia final, una disminución en el mantenimiento de los flujos base a mediano y largo plazo a nivel de grandes cuencas, lo que implica mayor estrés a los sistemas ecológicos considerados.
- La incidencia del bosque sobre la calidad del agua, y la disminución de producción de sedimentos, ha sido bien determinada por Hamilton, *et al.* (2009). Sin embargo, los efectos sobre los RH a largo plazo, los procesos de retención y mantenimiento de flujos base a mediano y largo plazo es aún incipiente y requiere sobre todo de mediciones sistemáticas y consistentes en estaciones en tierra; además de una mejora en los modelos conceptuales, matemáticos y numéricos contemporáneos que se apoyen en dichas mediciones; y que necesariamente deben estar acompañados del creciente desarrollo mundial de tecnologías de percepción remota, la cual, se valida precisamente con datos levantados en estaciones en tierra.

El anexo 9.1 describe el uso del InVEST para el cálculo del rendimiento hídrico.

5.2. Valoración económica del rendimiento hídrico de la Reserva Forestal Imataca

La valoración económica del rendimiento hídrico de la RFI, se realizó por tres métodos:

- Procedimiento contraprestación por aprovechamiento de la República Bolivariana de Venezuela (2018).
- Transferencia de beneficios usando los valores de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward (2010).
- Conversión de bosques en zonas de asentamientos y zonas de minería

5.2.1. Procedimiento contraprestación por aprovechamiento de la República Bolivariana de Venezuela (2018)

En Venezuela se promulgó el Decreto número 3 367, fecha 12 de abril 2018, mediante el cual dicta el Reglamento de la Ley de Aguas, aparecido en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, número 41 376, reimpresso en la Gaceta 41 377 de fecha 13 de abril de 2018.

En el Decreto se presenta el Capítulo XIV del Cálculo por la Contraprestación del Aprovechamiento de las Aguas. En el Artículo 57 del Capítulo antes mencionado indica que la fórmula para calcular la Contraprestación del Aprovechamiento de las Aguas es la siguiente:

$$CA = \text{Volumen} * \text{Factor de Uso} \quad (\text{Ecuación 9.8})$$

Donde:

CA es la contraprestación del aprovechamiento anual en Unidades Tributarias por año (UT/año).

Volumen es la cantidad de agua asignada (m³/año) y,

Factor de uso es la Tarifa*Uso por aprovechamiento.

La Tarifa corresponde al costo de conservación y recuperación de la cuenca en UT/m³.

El uso por aprovechamiento es adimensional, para lo cual se toman como base, los datos de la Tabla 9.11, provenientes del referido decreto.

Tabla 9.11. *Valores bases para los usos por aprovechamiento (República Bolivariana de Venezuela, 2018)*

Tipos de usos	FACTOR DE USO USOS POR APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL		
	Empresas de propiedad social/organizaciones e instancias del poder popular	Persona natural	Empresa mercantil
AGRÍCOLAS			
Agrícola alimentario			
Producción animal	0,7	0,88	1,05
Cultivos bajo riego			
Por goteo	0,6	0,75	0,9
Aspersión	0,5	0,63	0,75
Surco	0,65	0,81	0,98
Agrícola no alimentario			
Consumo directo	0,9	1,13	1,35
Agrocombustible	1	1,25	1,5
INDUSTRIA			
Agroindustrial	1,28	1,6	1,92
Industria no agraria	1,38	1,72	2,06
Materia prima	3	3,75	4,5
COMERCIAL	1,06	1,33	1,59

Asimismo, se presenta la Tabla 9.12, que muestra la Tarifa a aplicar, que es la referencia de los cálculos en el presente aparte.

Tabla 9.12. *Tarifa (República Bolivariana de Venezuela, 2018)*

Región Número	Región Hidrográfica	Tarifa, UT/m ³
15	Cuyuní	0,001

Con base en los datos de la Tabla 9.11, se le realiza un análisis de estadística descriptiva, para los diferentes usos, los resultados se presentan en la Tabla 9.13, la cual servirá para seleccionar el valor de usos por aprovechamiento. De la misma, se toma el valor de la moda (0,9).

Tabla 9.13. *Estadísticas descriptivas de los datos de la Tabla 9.11.*

Media	1,384
Error típico	0,167230036
Mediana	1,095
Moda	0,9
Desviación estándar	0,915956632
Varianza de la muestra	0,838976552
Curtosis	4,813019287
Coficiente de asimetría	2,146961713
Rango	4
Mínimo	0,5
Máximo	4,5
Suma	41,52
Cuenta	30
Nivel de confianza (95,0%)	0,342023827

Utilizando los datos arriba descritos, se calcula CA (contraprestación anual) para los bosques de la RFI. La Tabla 9.14 presenta CA para la RFI.

Tabla 9.14. *Contraprestación Anual para los Bosques de la RFI.*

Tipo Bosque	Año 2018					
	m ³ /año	m ³ /ha/año	Tarifa, UT/m ³	Moda uso por aprovechamiento	Contraprestación anual, UT/año	Contraprestación anual, UT/ha/año
Bosque de inundación mareal	65 605 671,88	7 739,66	0,001	0,9	59 045,10	6,97
Bosque de pantano	3 760 503 185,46	6 072,87	0,001	0,9	3 384 452,87	5,47
Bosque decíduo	5 825 101,91	593,32	0,001	0,9	5 242,59	0,53
Bosque degradado	371 641 900,97	1 734,48	0,001	0,9	334 477,71	1,56
Bosque húmedo tropical	8 537 191 793,9	3 578,04	0,001	0,9	7 683 472,61	3,22
Bosque siempreverde	1 477 706 798,64	3 252,06	0,001	0,9	1 329 936,12	2,93

Usando el valor de la UT para el país, año 2018, llevada a USD, se estima el valor del rendimiento hídrico de los bosques de la RFI, tal como se muestra en la Tabla 9.15.

Tabla 9.15. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI año 2018.

Tipo Bosque	Contraprestación anual, UT/año	Contraprestación anual, UT/ha/año	Valor UT año 2018, VES	Precio oficial VES/USD, 2018	Contraprestación anual, USD/año	Contraprestación anual, USD/ha/año
Bosque de inundación mareal	59 045,105	6,966	17,000	6 381,800	157,286	0,019
Bosque de pantano	3 384 452,867	5,466	17,000	6 381,800	9 015,591	0,015
Bosque deciduo	5 242,592	0,534	17,000	6 381,800	13,965	0,001
Bosque degradado	334 477,711	1,561	17,000	6 381,800	890,990	0,004
Bosque húmedo tropical	7 683 472,615	3,220	17,000	6 381,800	20 467,428	0,009
Bosque siempreverde	1 329 936,119	2,927	17,000	6 381,800	3 542,717	0,008

Es conveniente destacar, que los valores son muy bajos, debido primordialmente al bajo costo de la UT en Venezuela.

Usando el mismo procedimiento, pero con el valor de la UT de Colombia, año 2018, se estima el valor del rendimiento hídrico para el año 2018. La Tabla 9.16, presenta este resultado.

Tabla 9.16. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI usando el valor de la UT de Colombia para el año 2018.

Tipo Bosque	Contraprestación anual, UT/año	Contraprestación anual, UT/ha/año	UT Colombia, 2018	Contraprestación anual, USD/año	Contraprestación anual, USD/ha/año
Bosque de inundación mareal	59 045,105	6,966	10,2054	602 579,903	71,09
Bosque de pantano	3 384 452,867	5,466	10,2054	34 539 752,147	55,78
Bosque deciduo	5 242,592	0,534	10,2054	53 502,834	5,45
Bosque degradado	334 477,711	1,561	10,2054	3 413 484,450	15,93
Bosque húmedo tropical	7 683 472,615	3,220	10,2054	78 413 040,502	32,86
Bosque siempreverde	1 329 936,119	2,927	10,2054	13 572 552,409	29,87

Con base en la Tabla 9.16, se observa que el bosque húmedo tropical tiene un valor de 32,86 USD/ha al año relativo a su rendimiento hídrico.

Por otro lado, usando el mismo procedimiento, pero con el valor de la UT de Perú, año 2018, se estima el valor del rendimiento hídrico para el año 2018. El cual, se presenta en la Tabla 9.17.

Tabla 9.17. Valor del rendimiento hídrico para los bosques de la RFI usando el valor de la UT de Perú para el año 2018.

Tipo Bosque	Contraprestación anual, UT/año	Contraprestación anual, UT/ha/año	UT Perú, 2018	Contraprestación anual, USD/año	Contraprestación anual, USD/ha/año
Bosque de inundación mareal	59 045,105	6,966	1,232	72 743,71	8,582
Bosque de pantano	3 384 452,867	5,466	1,232	4 169 653,97	6,734
Bosque deciduo	5 242,592	0,534	1,232	6 458,886	0,658
Bosque degradado	334 477,711	1,561	1,232	412 077,334	1,923
Bosque húmedo tropical	7 683 472,615	3,220	1,232	9 466 056,509	3,967
Bosque siempreverde	1 329 936,119	2,927	1,232	1 638 484,457	3,606



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Con base en la Tabla 9.17, se observa que el bosque húmedo tropical, tiene un valor de 3,97 USD/ha/año relativo a su rendimiento hídrico.

5.2.2. Transferencia de beneficios usando los valores de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward (2010)

Sánchez (2005) publicó el documento *Una propuesta de valoración para el recurso hídrico proveniente de la cuenca alta del río Botonamo, estado Bolívar, Venezuela*, donde los objetivos del trabajo fueron:

- Sistematizar la relación hombre, ambiente y economía en función al recurso hídrico del embalse San Pedro como bien ambiental.
- Identificar los usos del recurso hídrico provenientes de la cuenca alta del río Botonamo.
- Desarrollar un modelo conceptual de las relaciones naturales, económicas y sociales, mediante una aproximación metodológica fundamentada en enfoques de economía ambiental y economía ecológica, con relación al recurso hídrico para su valoración.

El servicio ecosistémico valorado corresponde al recurso hídrico (servicio de provisión) proveniente de la cuenca alta del río Botonamo, específicamente de la cuenca del río Pariche que abastece de agua al embalse San Pedro, el cual surte a la población de Tumeremo.

Para la valoración económica del recurso hídrico se usaron dos métodos:

- Análisis de costos/gastos incurridos en la prestación del servicio de agua potable para el sistema de acueductos de Tumeremo por CVG-GOSH.
- Actualización por efectos de inflación a valores actuales de las tarifas que se aplican a los suscriptores para el cobro de la prestación del servicio.

Los resultados obtenidos indican un valor de 365,68 VEF por metro cúbico para el primer método (0,17 USD/m³) y de un promedio de 425,94 VEF por metro cúbico para el segundo método (0,20 USD/m³). Ambos valores son por la prestación del servicio de agua potable. El primero el ofertante y el segundo el demandante.

Por otro lado, Aylward y otros (2010) realizan el estudio *The Economic Value of Water for Agricultural, Domestic and Industrial Uses: A Global Compilation of Economic Studies and Market Prices*. Los autores revisaron 181 estudios realizados en África, Asia, Europa, Norte América y Sur América, para los usos: comercial forestal, doméstico, industria y riego.

En resumen, los valores fueron 0,22; 0,59 y 0,86 en USD/m³, para los usos riego, doméstico e industrial respectivamente. El menor valor fue 0,01 USD.

Para estimar el valor (USD/m³) para el caso de Sánchez (2005) se multiplica 0,17 por 0,5% de acuerdo con lo expresado por República Bolivariana de Venezuela (2018), mientras que para Aylward y otros (2010) se toma 0,01 USD /m³. La Tabla 9.18, presenta los resultados para los bosques de la RFI.

Tabla 9.18. Valor del rendimiento hídrico por transferencias de beneficios de los estudios de Sánchez (2005) y Aylward y otros (2010).

Tipo Bosque	m3/año	m3/ha/año	Venezuela Botonamo, Sánchez (2005)			Compilación, Aylward y otros (2010)		
			USD/m3	USD/año	USD/ha/año	USD/m3	USD/año	USD/ha/año
Bosque de inundacion mareal	65 605 671,88	7 739,66	0,00085	55 764,82	6,58	0,01	656 056,72	77,40
Bosque de pantano	3 760 503 185,46	6 072,87	0,00085	3 196 427,71	5,16	0,01	37 605 031,85	60,73
Bosque deciduo	5 825 101,91	593,32	0,00085	4 951,34	0,50	0,01	58 251,02	5,93
Bosque degradado	371 641 900,97	1 734,48	0,00085	315 895,62	1,47	0,01	3 716 419,01	17,34
Bosque húmedo tropical	8 537 191 793,9	3 578,04	0,00085	7 256 613,02	3,04	0,01	85 371 917,94	35,78
Bosque siempreverde	1 477 706 798,64	3 252,06	0,00085	1 256 050,78	2,76	0,01	14 777 067,99	32,52

Los resultados de la Tabla 9.18, indican un valor de 3,04 USD/ha al año para Bosque húmedo tropical si se toma el valor de Sánchez (2005) y 35,78 USD/ha al año si se toma el valor de Aylward y otros (2010), lo cual indica una marcada diferencia entre ambos resultados debido al método usado.

5.2.3. Conversión de bosques en zonas de asentamientos y minerías

La Tabla 9.19 presenta la diferencia en rendimiento hídrico si se convierten los bosques en asentamientos; o bosques en zonas de minería.

Tabla 9.19. Diferencias en rendimientos hídricos conversión de bosques en asentamientos o en minería

Tipo Bosque	m3/ha/año	Tipo intervención			
		Asentamientos m3/ha/año	Diferencia m3/ha/año	Minería m3/ha/año	Diferencia m3/ha/año
Bosque de inundacion mareal	7 739,66	15 226,71	7 487,05	18 712,96	10 973,3
Bosque de pantano	6 072,87	15 226,71	9 153,84	18 712,96	12 640,09
Bosque deciduo	593,32	15 226,71	14 633,39	18 712,96	18 119,64
Bosque degradado	1 734,48	15 226,71	13 492,23	18 712,96	16 978,48
Bosque húmedo tropical	3 578,04	15 226,71	11 648,67	18 712,96	15 134,92
Bosque siempreverde	3 252,06	15 226,71	11 974,65	18 712,96	15 460,9

Lovera, *et al.* (2018), indica que un aumento en el rendimiento hídrico anual (RH) no significa una condición favorable para una zona forestal, al contrario, significa pérdida de cobertura y en consecuencia disminución de Kc, lo cual a su vez mitiga los efectos evapotranspirativos de la vegetación; dejando más agua libre capaz de convertirse en escorrentía rápida, lo cual, incide en un aumento de los balances anuales de escurrimiento; y a la vez, en una disminución de la capacidad de regulación de flujos a largo plazo o escorrentía lenta. Esto finalmente incidirá en la disminución del mantenimiento de caudales bases del bosque. Lo que puede incidir en menor agua en los cauces en el verano o estiaje.

Si se asume que el incremento del rendimiento hídrico conduce a tener menor disponibilidad de agua en los cauces en el verano, entonces la conversión de una hectárea de los diferentes bosques a zonas de asentamientos, tendrá los valores relativos al rendimiento hídrico que se muestran en la Tabla 9.20.

Tabla 9.20. Valor, respecto al rendimiento hídrico de conversión de los bosques en asentamientos para la RFI.

Conversión	m3/ha/año	Compilación; USD/m3	Valor USD/ha/año
Asentamiento-bosque de inundación mareal	7 487,05	0,01	74,87
Asentamiento-bosque de pantano	9 153,84	0,01	91,54
Asentamiento-bosque decíduo	14 633,39	0,01	146,33
Asentamiento-bosque degradado	13 492,23	0,01	134,92
Asentamiento-bosque húmedo tropical	11 648,67	0,01	116,49
Asentamiento-bosque siempreverde	11 974,65	0,01	119,75

La Tabla 9.20 muestra que, si se convierte una hectárea de bosque húmedo tropical a una hectárea de asentamiento, se reducirá el agua en el cauce en el verano. Se estima que esta reducción tiene un valor de 116,49 USD/ha al año.

Usando el mismo procedimiento descrito anteriormente, se estima el valor, respecto al rendimiento hídrico de conversión de los bosques en minería, tal como se muestra, en la Tabla 9.21.

Tabla 9.21. Valor, respecto al rendimiento hídrico de conversión de los bosques en minería para la RFI.

Conversión	m3/ha/año	Compilación USD/m3	Valor USD/ha/año
Minería-bosque de inundación mareal	10 973,29	0,01	109,73
Minería-bosque de pantano	12 640,09	0,01	126,40
Minería-bosque decíduo	18 119,63	0,01	181,20
Minería-bosque degradado	16 978,48	0,01	169,78
Minería-bosque húmedo tropical	15 134,92	0,01	151,35
Minería-bosque siempreverde	15 460,90	0,01	154,61

Si se convierte una hectárea de bosque húmedo tropical a una hectárea de minería, se reducirá el agua en el cauce en el verano. Esta reducción tiene un valor de 151,35 USD/ha al año.

El anexo 9.2 presenta las Tablas de Excel usadas para la valoración económica del rendimiento hídrico.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- A pesar de que las mediciones hidrológicas en tierra se realizan en periodos muy cortos, entre 6 y 7 años, el recurrir a información mundial reportada por los diferentes investigadores y agencias mundiales, la utilización de herramientas de modelado de excelente desempeño como InVEST; y la correspondiente interpretación de imágenes de cobertura a partir de sensores remotos, permite reducir incertidumbres y validar la marcha metodológica desarrollada, considerándola adecuada para la estimación del rendimiento hídrico y su posterior valoración confiable.
- Se logra determinar y valorar el Rendimiento Hídrico para la Reserva Forestal Imataca (RFI) mediante la marcha metodológica desarrollada.
- La precipitación promedio en la RFI anual es del orden de 1 800 mm/año. Asimismo, los valores de precipitación, obtenidos mediante el ensamble de los modelos de simulación histórica Eta-MIROC55 y Eta-HadGEM2-ES hasta el año 2000, y su posterior ajuste, logran reproducir la variabilidad espacial de la precipitación para la RFI. Evidenciando los centros de tormenta al Noreste y Suroeste, observados en los datos levantados en tierra y representados mediante mapas de datos históricos asíncronos.
- Mediante la marcha metodológica empleada, y la utilización de las simulaciones de temperatura ensamblada y ajustada a datos históricos de los modelos Eta-Miroc5 y Eta-Hadgem2, se logra la representación espacial de la temperatura en la RFI. La cual es de un valor promedio de 25,4 °C.
- Se logra estimar la Evapotranspiración de cultivo de referencia ETo para toda la RFI, mediante la transformación de estimación Hamon a Penman Monteith (PM), usando las correlaciones y ajustes encontrados tomando como insumo base las simulaciones de temperatura, esto hace factible la incorporación futura de escenarios de Cambio Climático.
- La marcha metodológica presentada aseguró la estimación más precisa de los valores de ETo en la RFI. Los valores encontrados de Eto para la RFI se encuentran en el orden de 1 609 mm/año, estos valores se comparan con datos mundiales simulados por Trabucco y Zommer (2018) los cuales son de 1 673 mm/año para la RFI. Lo cual representa una diferencia de solo 3,4% entre ambas aproximaciones, esto implica que ambas se pudieran usar en las estimaciones de rendimiento hídrico.
- Los valores obtenidos mediante simulación ajustada de campos de temperatura y luego su posterior transformación a equivalentes espaciales de ETo-PM, utilizando *krigeado* como técnicas geoestadísticas de interpolación óptima, logra mitigar los caracteres fractales de los campos espaciales, típicos de levantamientos a partir de sensores remotos, tal como se observó en los presentados por Trabucco y Zommer (*Op. Cit.*).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Las aproximaciones a valores de cultivo de referencia asignados para las coberturas se encuentran en promedio $K_c=0,98$, utilizando la Base de datos AHDTool es de 0,98, los levantamientos a partir de imágenes LANSAT y pixeles de 30 m x 30 m arrojan valores de 1,03 para la RFI año 2000. Por otro lado, utilizando correlaciones con levantamientos promedios espectrales del índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, se encuentra que el valor de K_c promedio es de 0,94. La máxima diferencia entre los valores encontrados, que se sitúa en un 8,4%, indican que los mismos tendrían un orden de magnitud similar. Lo que hace robusta la estimación de la Evapotranspiración potencial a partir de cualquiera de ellos.
- La utilización de la expresión de Budyko, en el software InVEST y la comparación de los valores del factor biofísico (W) con fuentes mundiales y datos locales permitió una estimación confiable de este parámetro. Se determina que igualmente que un valor de la constante estacional de precipitación (Z), $Z=15$, es adecuada para la estimación del rendimiento en la RFI.
- Se selecciona para la estimación del valor de ETP, los levantamientos de coberturas a partir de la interpretación de imágenes a pixeles de 30 m x 30 m, por considerarse los más confiables, debido a que se realizan con procedimientos metodológicos robustos.
- Los valores de rendimiento hídrico encontrados, para la RFI mediante simulación con el software InVEST, se sitúan en el orden de 400 mm/año para 2018, lo cuales se comparan con promedios simulados por NASA entre 2000 y 2018, con la metodología desarrollada por Rodell *et al.* (2015). Estos están en 420 mm/año. Lo cual indica una diferencia del 5 % entre ambas fuentes que utilizan metodologías de cálculo diferentes. Esta pequeña diferencia indica una baja incertidumbre en la estimación anual del rendimiento hídrico. La estimación y comparación de datos de rendimiento hídrico para épocas 2000 y 2018 y su posterior análisis en variación relativa, mitiga aún más, la incertidumbre que se pudiera tener en la estimación de estos valores para la RFI.
- El análisis de sensibilidad del rendimiento hídrico, debido a la variación de coberturas, mediante enfoques de elasticidades permite establecer que los cambios temporales en las coberturas inciden de manera significativa en la variación del rendimiento, situándose los valores de elasticidades entre 2 para cuencas con precipitaciones altas y hasta 6 en cuencas con precipitaciones bajas
- Aunque pudieran utilizarse otros métodos para la estimación de la ETR y el posterior rendimiento hídrico (RH o Y), tales como el algoritmo de SAFER, utilizada por Teixeira *et al.* (2018) para la zona semiárida de Brasil, o Thornwhite entre otros; la mejor forma de minimizar estos niveles de incertidumbre es reinstalando el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos.
- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Venezuela de 17,0 VES para el año



2018, corresponde a 0,019; 0,015; 0,001; 0,004; 0,009 y 0,008 en USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.

- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Colombia de 33 156 COL, para el año 2018, corresponde a 71,09; 55,78; 5,45; 15,93; 32,86 y 29,87 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando la contraprestación anual para la conservación de los bosques de la RFI, con un valor de Unidad Tributaria de Perú de 4,15 soles, para el año 2018, corresponde a 8,58; 6,73; 0,66; 1,92; 3,97 y 3,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Sánchez (2005) corresponde a 6,58; 5,16; 0,5; 1,47; 3,04 y 2,76 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El valor del rendimiento hídrico, usando transferencia de beneficios de Aylward y otros (2010) corresponde a 77,40; 60,73; 5,93; 17,34; 35,78 y 32,52 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a asentamientos humanos, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 74,87; 91,54; 146,33; 134,92; 116,49 y 119,75 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.
- El costo de convertir una hectárea de bosque a minería, desde el punto de vista de rendimiento hídrico, corresponde a 109,73; 126,40; 181,20; 169,78; 151,35 y 154,61 USD/ha al año, para los bosques de inundación mareal, bosque de pantano, bosque deciduo, bosque degradado, bosque húmedo tropical y bosque siempreverde, respectivamente.

6.2. Recomendaciones

- Reinstalar el sistema de estaciones hidrométricas en los sitios históricos y en las cuencas de interés dentro de la RFI y reforzar el sistema de toma de datos hidrometeorológicos en tierra con la finalidad de mejorar la estimación a partir de sensores remotos.
- Se recomienda igualmente la consideración de los valores encontrados como referencia para futuras investigaciones que impliquen levantamientos de información primaria en campo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Se recomienda, efectuar estudios para la valoración de las aguas subterráneas en los macizos cristalinos a encontrar en la RFI.
- Realizar un estudio similar usando escenarios de cambio climático.
- Ampliar la aplicación de la valoración económica del rendimiento hídrico usando métodos de conservación de las cuencas.
- Reaplicar el método de contraprestación por aprovechamiento usando una Unidad Tributaria para Venezuela más acorde con la economía real del país.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



7. Bibliografía

Allen *et al.* 1998. *Crop evapotranspiration -- guidelines for computing crop water requirements*. Rome. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations.

Bosh J.M. y Hewlett J.D. 1982. *A Review of Catchment Experiments to Determine the Effects of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration*. Journal of Hydrology. 55. 3-23

Budyko, M. I. 1974. *Climate and Life*, Academic, New York. [Google Scholar](#)

Cárdenas, J. 2016. *Aplicabilidad del Software InVEST para el Mapeo de Servicios Ecosistémicos Caso Cuenca Alta del Río Claro*. (Trabajo de Grado Para Optar al Título de Ing. Ambiental). Colombia. Universidad EIA, Envigado.

Cuesta, A.; Montoro, A.; Jochum, A.M; López, P. y Calera, A. 2005. *Metodología Operativa para la obtención del coeficiente del cultivo a partir de Imágenes satélite*. ITEA. Vol. (101)-3. Pp. 212-224.

Donohue, R.J., Roderick, M.L. y McVicar, T.R. 2012. *Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydro-logical processes into Budyko's hydrological model*. Journal of Hydrology, 436-437, 35-50

Gáspari, F.; Díaz, R.; Delgado, M. y Senisterra, G. 2015. *Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense*. Argentina Rev. Fac. Agron. La Plata. Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio, 214-221.

Glenn, E.P.; Neale, C.; Hunsaker, D. y Nagler P. 2011. *Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems*. Hydrol Proc. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) doi: 10.1002/hyp.8392

Hamel, P. y Guswa, A.J. 2015. *Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 839-853, doi: 10.5194/hess-19-839-2015

Hamilton, L.S.; Dudley, N.; Greminger, G.; Hassan, N.; Lamb, D.; Stolton, S. y Tonetti, S. 2009. *Los Bosques y El Agua*. FAO. Doc 155. ISBN: 978-92-5-306-090-0

Hostetler, S.W. y Alder, J.R. 2016. *Implementation and evaluation of a monthly water balance model over the US on an 800 m grid*. Roma. Italia. Water Resour. Res., 52, doi: 10.1002/2016WR018665

Lovera, V.; Roldán, I.E.; Sánchez, J. y Torres, P. 2018. *Evaluación del Servicio Ecosistémico de Rendimiento Hídrico entre los años 1994 y 2016 en el Municipio de Valle de Bravo. Estado de México*. Papeles de Geografía. 64 pp. 93-113 doi: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2018/322931>



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Maidment, D. (E). *Handbook of Hydrology*. Mc Graw Hill. 1143p. (1993). ISBN: 978-0-07-17-1177-7.

Matheus, T.R.; Dadson, S.J.; Lebner, B.; Abele, S. y Gedney N. 2015. *High-resolution global topographic index values for use in large-scale hydrological modelling*. Hydrology and Earth System Sciences. Vol 19. 91-04. doi: 10.5194/hess-19-91-2015

Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA), 2017. República Bolivariana de Venezuela. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Caracas (Venezuela). Fundación para la Educación Ambiental. FUNDAMBIENTE. ISBN: 978-980-6840-16-4.

Monteiro, E.; Da Silva A.; Souza Adilson; Tanaka, A.; Fermeda Brena, G. y Martin, C. 2016. *Water Requirements and Crop Coefficients of Tropical Forest Seedling in Different Shading Conditions*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V 20 Nro. 8. Pp 709-715.

Mutiibwa e Irmak. 2013. *AVHRR-NDVI-based crop coefficients for analyzing long-term trends in evapotranspiration in relation to changing climate in the U.S.* High Plains Water Resour. Res, 49. doi: 10.1029/2012WR012591

NASA. 2019. *Global Land Data Assimilation System (GLDAS)*. (Disponible en: <https://livingatlas.ergis.com/waterbalance/>). Acceso: 2 de julio de 2019.

Peña, M.V. y Vilchiz, M.J. *Automatización del Cálculo del Índice de Aridez en un ambiente SIG*. Notas de Clase. 2011 s/p.

Rao, L.Y.; Sun, G.; Ford, C.R. y Vose J.M. 2011. *Modeling Potential Evapotranspiration of Two Forested Watersheds in the Southern Appalachians*. Advances in Forest hydrology Transaction of ASABE. Vol 54 (6). 2067-2068. ISSN: 2151-0032.

Recalde, Y. 2018. *Incidencia del Cambio Climático y del Uso del Suelo en la Disponibilidad de Agua en la Cuenca del Rio Napo*. (Trabajo final de Grado MSc). Ecuador. Universidad Técnica del Norte. (Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8067>). Acceso: 2 de septiembre de 2019.

Rineer, J.; Bruhn, M.; Miralles-Wilhelm, F. y Muños-Castillo, R. 2014. *HydroBID. Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1*. Washington. D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. (IDB-TN-528).

Rodell, M.; Beaudoin, H.K.; L'Ecuyer, T.S.; Olson, W.S; Famiglietti, J.S., et al. 2015. *Observed State of the Water Cycle in the Early Twenty-First Century*. Journal Of Climate. Vol 28.

Sharp, R.; Tallis, H.T.; Ricketts, T.; Guerry, A.D.; Wood, S.A.; Chaplin-Kramer, R.; Nelson, E.; Ennaanay, D.; Wolny, S.; Olwero, N.; Vigerstol, K.; Pennington, D.; Mendoza, G.; Aukema, J.; Foster,



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



J.; Forrest, J.; Cameron, D.; Arkema, K.; Lonsdorf, E.; Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., y Douglass, J. 2018. *InVEST 3.6.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Terrado, M.; Acuña, V.; Ennaanay, T. y Sabater, S. 2014. *Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin*. Ecological Indicators. Volume 37, Part A. Pp 199-209, doi: 10.1016/j.ecolind.2013.01.016.

Pacha, María J. 2014. *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía*. Brasília, Iniciativa Amazonia Viva, WWF.

Texeira, A.; Leiva J.; Bayma-Silva G. y Garçon, E. 2018. *Evapotranspiration Estimations in the Brazilian Semi-Arid by Using MODIS Reflectance Products and Agrometeorological Stations*. Modern Environmental Science and Engineering. Volume 4, No. 10, pp. 953-960. doi: 10.15341/mese(2333-2581)/10.04.2018/005

Trabucco, A. 2010. *High-Resolution Global Soil-Water Balance*. Explicit for Climate – Standart Vegetation and soil Conditions. CGIAR-CSI. Web Document. <https://cgiarcsi.community>

Trabucco, A. y Zomer, R.J. 2018. *Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration (ET0) Climate Database v2*. CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal at <https://cgiarcsi.community>.

Williams, C.A., et al. 2012. *Climate and vegetation controls on the surface water balance: Synthesis of evapotranspiration measured across a global network of flux towers*. Water Resour. Res., 48, W06523, doi:[10.1029/2011WR011586](https://doi.org/10.1029/2011WR011586).

Xu, X.; Liu, W.; Escanlon, B.; Zang, L. y Pan M. 2013. *Local and Global Factors Controlling water-Energy Balances within Budyko framework*. Geophysical Research Letters, Vol 40, 6123-6129. doi: 10.1002/2013GL058324.

Zhang, Y.Q., Leuning, R.; Chiew, F. H. S.; Wang, E.L., Zhang, L.; Liu, C.M., Sun, F.B., Peel, M. C., Shen, Y. J. y Jung, M. 2012. *Decadal trends in evaporation from global energy and water balances*. J. Hydrometeorol. 13 (1), 379– 391.

Anexo 9.1.

Uso del InVEST para el cálculo del rendimiento hídrico

1. Información requerida y suministrada al InVEST para estimar el rendimiento hídrico

La Tabla 1 muestra la información requerida por el InVEST para calcular el rendimiento hídrico.

Tabla 1. Información requerida por el InVEST para calcular el rendimiento hídrico

Dato requerido	Formato
Precipitación promedio anual (mm)	Conjunto de datos SIG raster (Mapa) para cada celda con el promedio de precipitación anual.
Promedio anual de la evapotranspiración de referencia (mm)	Conjunto de datos SIG raster (Mapa) con un promedio anual de evapotranspiración para cada celda.
Contenido disponible de agua para las plantas (mm)	Conjunto de datos SIG raster para cada celda con la fracción de agua que puede almacenarse en el perfil del suelo disponible para el uso de la vegetación (fracción varía de 0 a 1).
Profundidad promedio de la capa de suelo que restringe las raíces (mm)	Conjunto de datos SIG raster para cada celda con la profundidad del suelo en la cual comienza una capa que inhiba la penetración de raíces dadas las condiciones físicas o químicas específicas del suelo.
Factor de estacionalidad (Z)	Valor de 1 a 20 correspondiente a la distribución estacional de la precipitación.
Cobertura/Usos del suelo actual (LULC)	Conjunto de datos SIG raster, con un código LULC para cada celda.
Cuencas	Un shapefile, con un polígono por cuenca.
Subcuencas	Un shapefile, con un polígono por subcuenca dentro de la cuenca principal en el shapefile Cuenca.
Tabla biofísica para tipos de LULC	Una Tabla de clases de LULC con datos biofísicos (profundidad de raíz (mm); coeficiente potencial de evapotranspiración (Kc); profundidad de la raíz máxima para las clases de uso de la tierra con vegetación. (Son atributos de cada tipo de LULC y no de celdas individuales del mapa raster).

A continuación, se presentan las fuentes de la información suministrada al InVEST, módulo rendimiento hídrico:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Se elaboró una base de datos cartográfica con las siguientes capas temáticas:

- Distribución de la precipitación anual (mm): se obtuvo a partir de la base de datos del INAMEH, al que se le realizó un mapa asincrónico de precipitación histórica de todas las estaciones existentes en la región.
- Distribución espacial de la evapotranspiración potencial anual (mm): se utilizaron los valores con base a la clasificación de USGS-HydroBID-Tool y los obtenidas con base al Kc Espectral (correlación con NVDI).
- Los valores del Coeficiente de Cultivo (Kc), se obtuvieron a partir de la clasificación de coberturas de la tierra obtenida de la base de datos de HydroBID; así como, los valores de la profundidad del horizonte del suelo (mm)
- Los valores del Contenido disponible de agua para las plantas (mm) se tomaron de la base de datos AHDtool de HydroBID.
- Los Mapas de Coberturas/Usos del suelo (escenario actual 2000 y futuro 2018) (LULC) se usaron los generados para el informe de Estimación de las emisiones evitadas directas e indirectas en los depósitos de biomasa terrestres de la RFI. En la Tabla 2 se presenta las superficies por categorías de coberturas/uso del suelo para los años 2000 y 2018 respectivamente.
- Para la constante empírica Z, denominada constante estacional de precipitación, se utilizó el valor de 15.

Tabla 2. Superficie y porcentaje por categorías de coberturas/uso del suelo para los años 2000 y 2018, en la RFI.

Categorías Coberturas / Uso del suelo	Superficie			
	2000		2018	
	ha	%	ha	%
Bosque de inundación mareal	11 720,64	0,31	8 476,55	0,22
Bosque de pantano	616 153,88	16,13	619 230,14	16,21
Bosque deciduo estacional	10 415,07	0,27	9 817,74	0,26
Bosque degradado	126 237,80	3,3	214 267,22	5,61
Bosque húmedo tropical	2 479 921,01	64,91	2 385 997,24	62,45
Bosque siempreverde	468 325,66	12,26	454 391,02	11,89
Plantaciones forestales	2 070,60	0,05	2 064,48	0,05
Cultivos	9 118,79	0,24	12 046,40	0,32
Corta fuego	685,51	0,02	715,33	0,02
Herbazal	45 207,92	1,18	45 037,03	1,18
Pecuario	4 170,74	0,11	10 103,74	0,26
Ríos	22 715,81	0,59	22 874,38	0,6
Turberas	8 050,99	0,21	9 497,56	0,25
Asentamientos humanos	372,7	0,01	477,4	0,01
Minería	10 445,11	0,27	22 184,94	0,58
Vialidad	4 998,01	0,13	3 429,06	0,09
Otras Coberturas	181,79	0	181,79	0
	3 820 792,03	100	3 820 792,03	100

2. Resultados

2.1. Distribución espacial del rendimiento hídrico en la RFI, años 2000 y 2018.

Las Figuras 1 y 2 muestran, la distribución espacial, por píxel de 30 x 30, del rendimiento hídrico anual en la RFI, para los años 2000 y 2018, respectivamente.

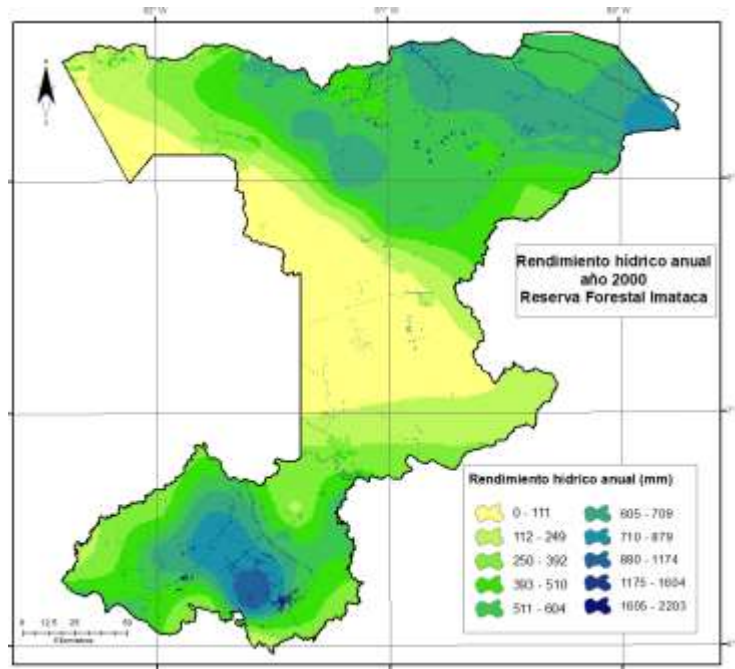


Figura 1. Distribución espacial del rendimiento hídrico anual en la RFI, para el año 2000.

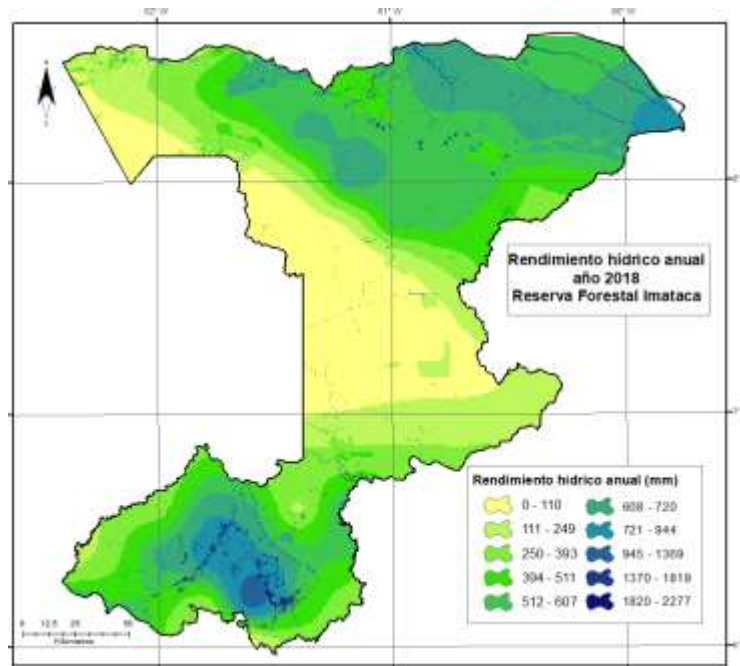


Figura 2. Distribución espacial del rendimiento hídrico anual en la RFI, para el año 2018.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los máximos rendimientos hídricos se distribuyen hacia las zonas noreste y suroeste en ambos años. Los mínimos, están en el centro de la RFI para ambos años. Para el año 2000, los valores promedio de rendimiento hídrico son 1 058 mm al año y para el año 2018, 1 080 mm al año.

Como se observa, el rendimiento hídrico va incrementándose, denotando una pérdida de cobertura del suelo. Tal aseveración se reafirma si se observa la Figura 1, donde el rendimiento hídrico anual para el período 1971-2000 fue 697 mm.

2.2. Distribución espacial del rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, años 2000 y 2018.

En la Tabla 3 se presentan los rendimientos hídricos promedios obtenidos por categorías de coberturas/uso del suelo para la RFI, años 2000 y 2018. En las Figuras 3 y 4, se pueden observar la distribución espacial del rendimiento hídrico promedio para las categorías de coberturas/uso del suelo en la RFI, para los años considerados.

Tabla 3. Rendimiento hídrico total año y promedio por hectárea año para las categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000 y 2018.

Categorías	Año 2000		Año 2018	
	m3/año	m3/ha/año	m3/año	m3/ha/año
Asentamientos	5 579 704,67	14 971,01	7 269 247,21	15 226,71
Bosque de inundación mareal	89 656 794,65	7 649,48	65 605 671,88	7 739,66
Bosque de pantano	3 741 585 642,93	6 072,49	3 760 503 185,46	6 072,87
Bosque deciduo	6 102 417,86	585,92	5 825 101,91	593,32
Bosque degradado	210 904 478,28	1 670,69	371 641 900,97	1 734,48
Bosque húmedo tropical	8 696 947 255,96	3 506,95	8 537 191 793,90	3 578,04
Bosque siempreverde	1 524 477 710,38	3 255,17	1 477 706 798,64	3 252,06
Corta fuego	10 802 648,01	15 758,51	11 205 954,16	15 665,45
Cultivos	41 517 461,59	4 552,96	54 302 634,11	4 507,79
Herbazal	289 917 269,39	6 412,98	288 132 361,97	6 397,68
Minería	193 348 702,23	18 510,94	415 145 880,21	18 712,96
Otras coberturas	2 936 390,50	16 152,63	2 936 390,5	16 152,63
Pecuario	17 147 053,01	4 111,27	45 089 260,88	4 462,63
Plantación forestal	2 875 412,36	1 388,68	2 867 560,78	1 389,00
Ríos	348 768 083,29	15 353,54	350 520 943,66	15 323,73
Turberas	19 655 401,58	2 441,36	22 080 888,92	2 324,90
Vialidad	62 005 640,85	12 406,06	7 269 247,21	15 226,71
Total	15 264 228 067,54	3 995,043	15 461 851 003,37	4 046,77

Cuando se analiza el rendimiento hídrico para cada una de las clases de uso del suelo y vegetación, para los años 2000 y 2018, se observa un ligero incremento en el total, debido primordialmente a que se ha reducido la cobertura de bosques y se ha incrementado los usos mineros, vialidad y asentamientos.

De las coberturas, en el año 2018, los bosques húmedo tropical y el bosque siempreverde presentan rendimientos hídricos similares. El bosque de inundación mareal es el que presenta mayor rendimiento hídrico de los bosques.

La minería es la actividad donde el rendimiento hídrico es mayor pues no presenta mucha cobertura.

En términos generales la Reserva está bien conservada.

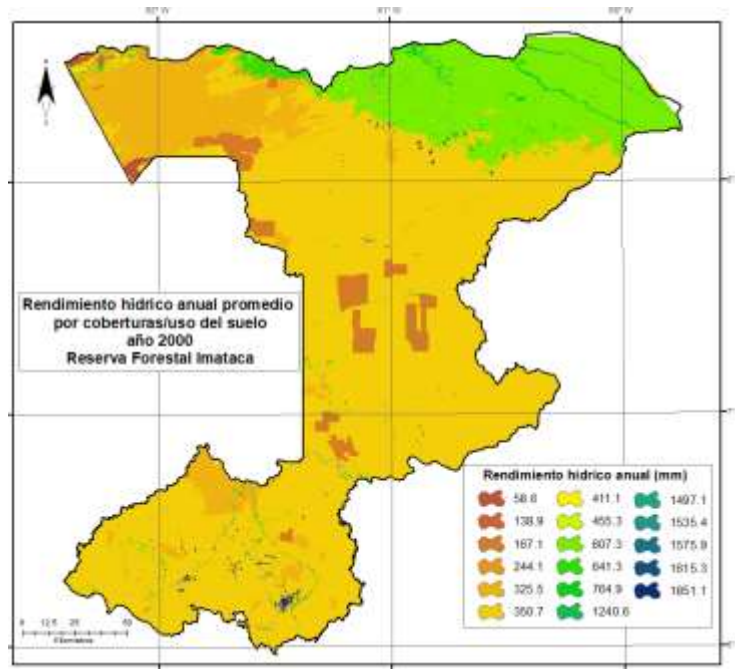


Figura 3. Distribución espacial rendimiento hídrico promedio por categorías de coberturas/uso del suelo, años 2000, en la RFI.

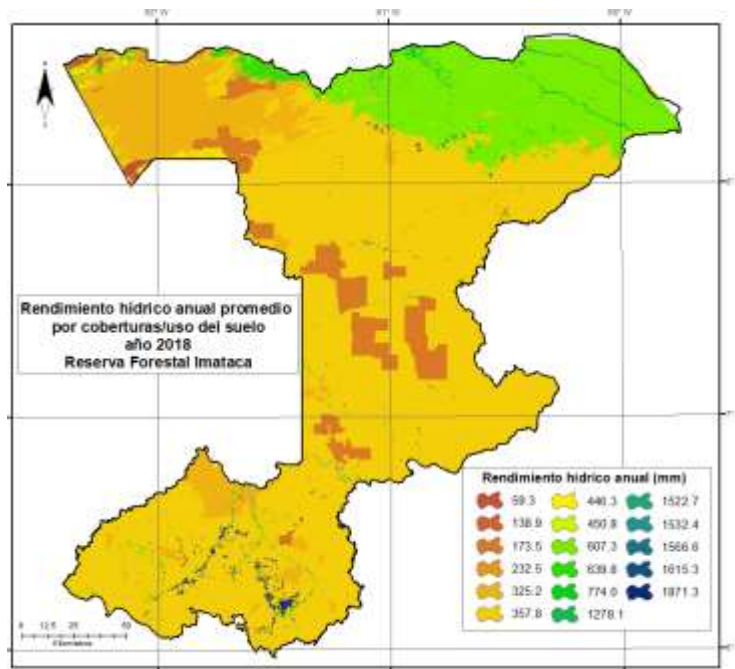


Figura 4. Distribución espacial rendimiento hídrico promedio por categorías de coberturas/uso del suelo, años 2018, en la RFI.

2.3. Distribución espacial de las diferencias en el rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, años 2000 y 2018.

La Figura 5 presenta la distribución espacial de las diferencias en el rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, entre los años 2000 y 2018.

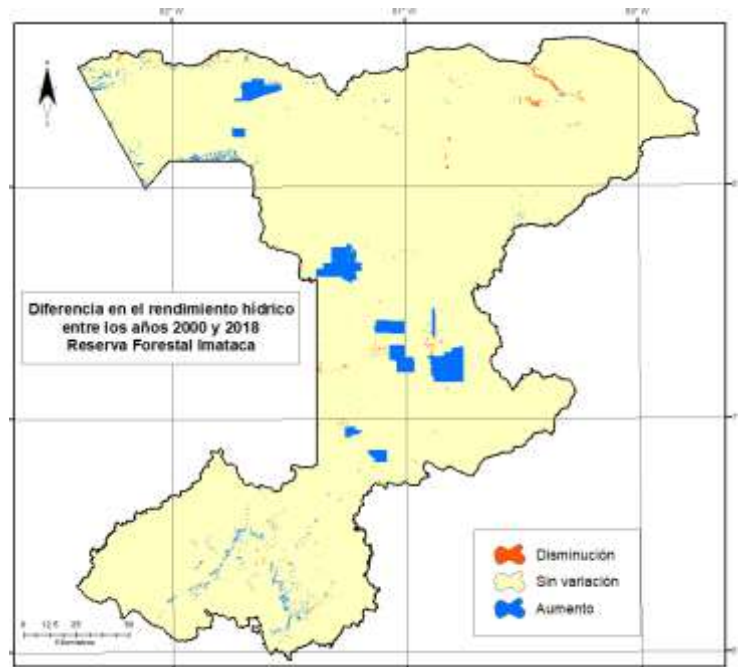


Figura 5. Distribución espacial de las diferencias en el rendimiento hídrico en la RFI, por cobertura y uso del suelo, entre los años 2000 y 2018.

El aumento se debe a la pérdida de cobertura por deforestación y degradación del bosque, al incremento de las actividades mineras, agrícolas y pecuarias, entre ambos años.

Es conveniente destacar, en sintonía con lo expresado por Lovera, *et.al.* (2018), que un aumento en el rendimiento hídrico anual (RH) no significa una condición favorable para una zona forestal, al contrario, significa pérdida de cobertura y en consecuencia disminución de K_c , lo cual a su vez mitiga los efectos evapotranspirativos de la vegetación; dejando más agua libre capaz de convertirse en escorrentía rápida, lo cual, incide en un aumento de los balances anuales de escurrimiento; y a la vez, en una disminución de la capacidad de regulación de flujos a largo plazo o escorrentía lenta. Esto finalmente incidirá en la disminución del mantenimiento de caudales bases del bosque. Lo que puede incidir en menor agua en los cauces en el verano.

Por otro lado, se puede resaltar lo siguiente:

- El cambio de cobertura tendrá un mayor impacto en cuencas con bajo rendimiento hídrico y sobre la provisión a largo plazo y mantenimiento de caudales de estiaje.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Un aumento en el rendimiento anual no significa un impacto positivo, sino al contrario la posibilidad de aumento en los flujos rápidos, los cuales incrementan la posibilidad de producción de sedimentos, una evidente disminución de la capacidad de infiltración y en consecuencia final, una disminución en el mantenimiento de los flujos base a mediano y largo plazo a nivel de grandes cuencas, lo que implica mayor estrés a los sistemas ecológicos considerados.
- La incidencia del bosque sobre la calidad del agua, y la disminución de producción de sedimentos, ha sido bien determinada por Hamilton, *et.al.* (2009). Sin embargo, los efectos sobre los RH a largo plazo, los procesos de retención y mantenimiento de flujos base a mediano y largo plazo es aún incipiente y requiere sobre todo de mediciones sistemáticas y consistentes en estaciones en tierra; además de una mejora en los modelos conceptuales, matemáticos y numéricos contemporáneos que se apoyen en dichas mediciones; y que necesariamente deben estar acompañados del creciente desarrollo mundial de tecnologías de percepción remota, la cual, se valida precisamente con datos levantados en estaciones en tierra.

3. Bibliografía

Hamilton, L.S.; Dudley, N.; Greminger, G.; Hassan, N.; Lamb, D.; Stolton, S. y Tonetti, S. 2009. *Los Bosques y El Agua*. FAO. Doc 155. ISBN: 978-92-5-306-090-0

Lovera, V.; Roldán, I.E.; Sánchez, J. y Torres, P. 2018. *Evaluación del Servicio Ecosistémico de Rendimiento Hídrico entre los años 1994 y 2016 en el Municipio de Valle de Bravo. Estado de México*. Papeles de Geografía. 64 pp. 93-113. (Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2018/322931>). Acceso: 3 de septiembre de 2019.

Rodell, M.; Beaudoin, H.K.; L'Ecuyer, T.S.; Olson, W.S. y Famiglietti, J.S. 2015. *Observed State of the Water Cycle in the Early Twenty-First Century*. Journal Of Climate. Vol 28.

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., and Douglass, J. 2018. *InVEST 3.6.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 10

Valoración Ambiental y Económica del Atrape y Almacenamiento de Carbono en la Reserva Forestal Imataca

Resumen

El atrape y almacenamiento de carbono es uno de los principales servicios ecosistémicos presente en la Reserva Forestal Imataca. Su valoración ambiental y económica fue realizada usando el programa InVEST 3.6.0, modulo secuestro y almacenamiento de carbono.

La valoración se realizó para los años 2000 y 2018, de modo de conocer el carbono almacenado para diferentes coberturas del suelo para esos años; así como la diferencia entre ambos períodos.

El programa fue alimentado con los mapas de uso del suelo de ambos años; así como, el valor de sumideros de carbono de biomasa aérea, subterránea, materia orgánica muerta y el suelo.

Por otro lado, al modelo se proporcionó la información del valor del mercado de la tonelada de carbono; así como, la tasa de descuento para calcular el valor económico del carbono.

Desde el punto de vista de la valoración ambiental, el programa arrojó que para el año 2000, el carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo fue de 1 168 499 449,2 t C; de los cuales 674 943 312,2 t C (57,8%) corresponden a la biomasa viva y 425 925 240,8 t C (36,5%) corresponden al carbono orgánico en el suelo. Por otro lado, se tiene que 802 973 624,6 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 68,72%; el bosque de pantano tiene 175 948 901,2 t C representado el 15,06% y el bosque siempreverde cuenta con 146 806 043,8 t C representado el 12,56%.

Para el año 2018 se observó que el carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, fue de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo. Asimismo, de ese total, se tiene, que 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representado el 15,33% y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%. Como se observa ha disminuido el carbono en el bosque húmedo tropical entre ambos años.

Desde el punto de vista de la valoración económica, el modelo indicó que la Reserva Forestal Imataca tiene un valor de servicio ecosistémico de atrape y almacenamiento de carbono de 23 419 898 202 USD. De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 (11,1%) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 (36,8%) al carbono en el suelo. La cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para la comparación del período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono por causas de cambio en el uso del suelo. Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono. El valor anterior significa una pérdida del 0,7 por mil del valor del SE en la Reserva.

Los resultados deben tomarse como órdenes de magnitud debido a las desventajas del modelo y por la carencia de información de campo para corroborar las estimaciones teóricas.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que una parte importante de las emisiones de carbono a la atmósfera proviene de la deforestación (IPCC, 2014).

En orden de reducir la deforestación y degradación de los bosques se ha venido implementando la iniciativa REED. Este es un programa de las Naciones Unidas, presentado en septiembre de 2008, para la reducción de emisiones debido a la degradación y deforestación de los bosques. Uno de los organismos que gestiona la iniciativa es la FAO.

Para conocer la viabilidad económica de los proyectos dentro de los programas REDD es indispensable determinar el valor económico del atrape y almacenamiento de carbono.

El servicio ecosistémico de regulación atrape y almacenamiento de carbono es clasificado como valor de uso indirecto.

La conservación de la Reserva Forestal Imataca tiene un papel importante para el país debido a sus características naturales de atrape y almacenamiento de carbono, por lo cual presenta un alto valor económico.

En este capítulo, se realiza la valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la RFI.

Para tal fin se usó el programa inVest 3.6.0 (Sharp y otros 2018).

Para alimentar el programa se determinó el carbono presente en la Reserva, en los sumideros biomasa aérea, subterránea, materia orgánica muerta y el suelo. Los anexos 10.1 y 10.2 presentan tales determinaciones.

Para tal fin se evaluaron dos períodos, años 2000 y 2018. Se inició determinando el uso del suelo para ambos períodos, así como como el carbono presente, para diferentes usos del suelo en tales años.

El programa proporciona, de manera cartográfica, para diferentes usos del suelo, el carbono presente en los dos períodos.

Por otro lado, alimentando el programa con el valor económico de la tonelada de carbono, el mismo proporciona el valor económico de atrape y almacenamiento de carbono, para diferentes coberturas y para ambos períodos.

Con dichos resultados se obtuvo el valor económico de atrape y almacenamiento de carbono para los años 2000 y 2018 de la RFI, así como, observar el valor económico, por año, del servicio ecosistémico.

Los resultados más sobresalientes arrojaron que para el año 2000, se observó que el carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo es de 1 168 499 449,2 t C; de los cuales 674 943 312,2 t C (57,8%) corresponden a la biomasa



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



viva y 425 925 240,8 t C (36,5%) corresponden al carbono orgánico en el suelo. Por otro lado, se tiene que 802 973 624,6 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 68,72%; el bosque de pantano tiene 175 948 901,2 t C representando el 15,06% y el bosque siempreverde cuenta con 146 806 043,8 t C representando el 12,56%.

Para el año 2018 se observa que el carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, es de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo. Asimismo, de ese total, se tiene, que 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representando el 15,33% y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%.

Como se observa ha disminuido el carbono en el bosque húmedo tropical.

Otros resultados interesantes fueron: la Reserva Forestal Imataca tiene un valor de servicio ecosistémico de atrape y almacenamiento de carbono de 23 419 898 202 USD. De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 (11,1%) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 (36,8%) al carbono en el suelo. La cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.

Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para el período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono por causas de cambio en el uso del suelo. Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono. El valor anterior significa una pérdida del 0,7 por mil del valor del SE en la Reserva.

Las recomendaciones más sobresalientes detectadas fueron: usar los resultados como órdenes de magnitud que permitan tomar decisiones sobre la planificación del uso de la tierra de la Reserva. Realizar mediciones periódicas del almacenamiento de carbono, principalmente en biomasa aérea en diferentes coberturas de la RFI. Ejecutar un estudio semidetallado de suelos en la RFI. Usar otros precios referenciales de valor económico de la tonelada de carbono. Ejecutar análisis de sensibilidad para diferentes tasas de descuento para estimar el valor del secuestro de carbono.

Aunque el modelo inVest tiene varias ventajas también posee limitaciones: No considera dentro de los sumideros, una variabilidad en la capacidad de retención de C por cada especie vegetal en los diferentes usos del suelo. Es decir, el modelo considera una tasa constante de secuestro y almacenamiento de carbono para cada uso del suelo. En los datos ingresados, no se considera factores naturales como incendios, precipitación, altitud y edad de los bosques. El modelo no considera la sucesión natural de los bosques. Es decir, no toma en cuenta una recirculación entre los sumideros de C, cuando las especies forestales terminan su ciclo y se degradan.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Si a lo anterior se suma la falta de información de campo sobre el carbono de la Reserva, así como del suelo, los resultados deben interpretarse como órdenes de magnitud.

En ese orden de ideas, el capítulo contiene la presente introducción, el marco teórico, la metodología empleada, las limitaciones, los hallazgos y resultados, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y los correspondientes anexos.

2. Marco Teórico

2.1. Modelo InVEST

El InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) es un conjunto de modelos de software libre y de código abierto, que utiliza información cartográfica como base para mapear, y valorar los bienes y servicios que sostienen la vida humana (Sharp *et al.*, 2018).

Es un software compuesto de diferentes modelos independientes (dieciocho modelos, uno por cada servicio ecosistémico). Dichos modelos son espacialmente explícitos, por lo cual incorporan información geográfica, biofísica, usos y coberturas del suelo y ubicación de poblaciones y amenazas, entre otros atributos y producen como resultados mapas y datos métricos (NATCAP, 2014)

Los distintos modelos InVEST se basan en funciones de producción que definen cómo los cambios en la estructura y función de un ecosistema pueden afectar los flujos y valores de los servicios del ecosistema a través de un paisaje terrestre o marino. Los modelos representan tanto el suministro de servicios (p. ej., hábitats vivos como amortiguadores para las olas de tormenta) como la ubicación y actividades de las personas que se benefician de los servicios. (p. ej., ubicación de personas e infraestructura potencialmente afectadas por tormentas costeras).

Uno de los modelos del inVEST es el de almacenamiento y secuestro de carbono.

El modelo almacenamiento y secuestro de carbono (SAC) utiliza mapas de uso y cobertura del suelo y datos sobre el almacenamiento de carbono en cuatro reservorios (matriz reservorios carbono): biomasa superficial, biomasa subterránea, el suelo y biomasa muerta. Asimismo, permite considerar cosechas de madera y sus tasas de degradación (Sharp *et al.*, 2018).

El modelo para el almacenamiento de carbono funciona agregando los valores de carbono almacenado en los cuatro reservorios para cada tipo de cobertura y luego refleja espacialmente el almacenamiento total en toneladas de carbono por píxel (t/píxel).

En el secuestro de carbono implica la utilización de mapas de coberturas en dos tiempos distintos; de esta manera el modelo compara el cambio en las coberturas en ambos escenarios y calcula el cambio neto en el almacenamiento de carbono a lo largo del tiempo (secuestro y pérdida).

El modelo permite calcular el valor económico del secuestro, entre dos tiempos determinados, en función de la cantidad de carbono secuestrado, el valor monetario de cada unidad de



carbono, una tasa de descuento monetario y el cambio en el valor del secuestro de carbono a lo largo del tiempo.

Los resultados principales de este modelo son tres. El primero es un mapa de almacenamiento neto de carbono en toneladas de carbono por píxel (t/píxel). El segundo, si se evalúan escenarios en tiempos distintos, el modelo reporta un mapa indicando dónde se fijó o se liberó carbono y cuánto en toneladas de carbono por píxel (t/píxel). Y el tercero, al ingresar valores económicos para toneladas métricas de carbono secuestrado, se obtiene un mapa con la valoración económica del servicio de secuestro en unidades monetarias por píxel.

La ecuación utilizada por el modelo para la valoración económica por secuestro y almacenamiento de carbono es la siguiente, ecuación 1, tomada literalmente del inVEST.

$$value_seq_x = V \frac{sequest_x}{yr_fut - yr_cur} \sum_{t=0}^{yr_fut - yr_cur - 1} \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t \left(1 + \frac{c}{100}\right)^t}$$

(Ecuación 10.1)

Donde:

value_seq_x es el valor del secuestro de carbono en USD;

V es el valor de una tonelada de carbono secuestrado, USD/tC;

sequest_x corresponde al C total secuestrado en toneladas, t;

yr_fut es año futuro;

yr_cur es año base o actual;

t corresponde a cada año de análisis;

r es la tasa de descuento del mercado de carbono;

c es la tasa anual de cambio del precio del C en el mercado.

Sequest_x representa la diferencia de C total entre las coberturas del año futuro y del año actual, en toneladas.

Si la tasa c se coloca como negativa indicará que el valor social del C secuestrado en el futuro es mayor al valor social del C secuestrado ahora. Este puede ser el caso si los daños asociados al cambio climático en el futuro se incrementan debido al incremento de la concentración de los gases de efecto de invernadero.

El argumento contrario corresponde a si C se coloca como positiva.

Debido a la incertidumbre, se sugiere usar valores de c igual a 0.

Las principales limitaciones del modelo son tres (Sharp *et al.*, 2018):

- No considera dentro de los sumideros, una variabilidad en la capacidad de retención de C por cada especie vegetal en los diferentes usos del suelo. Es decir, el modelo considera una tasa constante de secuestro y almacenamiento de carbono para cada uso del suelo.
- En los datos ingresados, no se considera factores naturales como incendios, precipitación, altitud y edad de los bosques.
- El modelo no considera la sucesión natural de los bosques. Es decir, no toma en cuenta una recirculación entre los sumideros de C, cuando las especies forestales terminan su ciclo y se degradan.

Las ventajas del modelo son:

- Se puede usar en zonas de información escasa y de baja calidad.
- Provee información cartográfica útil para visualizar los cambios en el atrape y almacenamiento de carbono.
- Calcula directamente las pérdidas y ganancias de carbono entre dos períodos de tiempo; así como las pérdidas y ganancias de valor económico.
- Es software libre.
- Su uso es relativamente fácil.

La información requerida por el módulo (SAC, secuestro y almacenamiento de carbono), para el caso de la valoración del servicio ecosistémico en el área de estudio, se presenta en la Tabla 10.1.

Tabla 10.1. *Requerimientos de Información para el almacenamiento y secuestro de carbono*

Dato requerido	Detalle	Formato
1. Cobertura/Usos del suelo actual (LULC)	Año actual o Base	Mapa raster, con un código LULC para cada celda.
2. Reservorios de Carbono	Lucode: nombre del tipo de cobertura c_above: carbono en biomasa aérea (t/ha) c_below: carbono en biomasa subterránea (t/ha) c_soil: carbono en el suelo (t/ha) c_dead: carbono en materia muerta (t/ha)	Una Tabla de atributos para cada LULC, en formato .csv
3. LULC de escenarios futuros para evaluar secuestro de carbono	Año de la cobertura futura	Mapa ráster de uso del suelo / cobertura del suelo (LULC) para cada celda.
4. Información económica.	1. Precio / tonelada métrica de carbono secuestrada (USD/t) 2. Tasa de descuento del mercado (%) 3. Tasa anual de variación del precio del carbono (%)	Valor



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2.2. Precios del carbono

Eugeren (2004) indica que en el año 2000 se crearon los mercados de carbono. Está conformado por países que quieren comprar y vender bonos de carbono. Los bonos de carbono son certificados, cada uno equivalente a una tonelada métrica de dióxido de carbono.

Unión Europea (2013) señala que el mercado de los certificados ha reducido la emisión de emisiones de las empresas en dicho continente.

Según el Banco Mundial (2016), muestra que los certificados tienen diferentes valores, desde 1 a 130 USD/t CO₂.

Banco Mundial (2017) indica que para el 2020 los precios de carbono son inferiores a 40 y 80 USD/t CO₂ y que para el 2030 deberían ser de 50 a 100 USD/t CO₂.

En este año, para América Latina y el Caribe la CEPAL estableció el costo social del carbono (CSC), el cual identifica el costo económico que ocasiona una tonelada adicional de CO₂ emitida a la atmósfera para las actividades económicas, el bienestar social y los ecosistemas. En síntesis, se identificó el CSC en **25,83** dólares por tonelada (Alatorre y Caballero, 2019 - CEPAL).

2.3. Referencias del carbono en la RFI

González (2008), usando la técnica de valoración contingente, encontró una Disposición A Pagar por familia de Tumeremo de alrededor de 1 USD/mes, por tener aire limpio. La autora tomó dicho valor como el valor económico del secuestro de carbono de la Reserva. Si se asume que la población de Tumeremo es de 50 082 habitantes, el valor anual del secuestro de carbono es 600 984 USD. Si se extrapola, con las reservas del caso, dicho valor a la población de Venezuela, 28 870 195 habitantes, el valor anual del SE atrape y almacenamiento de carbono es de 346 442 340 USD/año. Si se divide entre la superficie de la RFI, aproximadamente 3 800 000 hectáreas, el valor de la DAP del SE será 91,17 USD/ha al año.

Vilanova y otros (2010) encontraron para la Unidad V de la RFI un almacenamiento de carbono de aproximadamente 163 t C/ha.

2.4. Referencias de valor económico de atrape y almacenamiento de carbono en otras latitudes

Barua y Haque (2013) encontraron un valor de secuestro de carbono, por plantar árboles en las montañas degradadas del distrito de Chittagong, Bangladesh, de 1 430 USD/ha.

Espinell (2017) encontró un valor presente neto de restauración del bosque en la cuenca del río Coca, mediante un programa nacional de incentivos, al año 2030, de 17 821 086,19 USD.

Bautista y Torres (2003) encontraron para el bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo; México, que las existencias de carbono eran de 353,44 t C/ha y que los ingresos potenciales por ventas de abono de carbono pudieran ser 21 200 442 USD/año.

Lemos (2017) encontró para el bosque siempreverde de Huangra, Ecuador, un almacenamiento de 266,98 t C/ha y un valor económico de 1 274,07 USD/ha.

Zuluaga y Castro (2018) señalan para el bosque seco tropical del municipio del Carmen de Bolívar, Colombia, 210 t C/ha con un valor económico de 637 USD/ha.

Valera y Carvaja (2014) realizaron una investigación para estimar el potencial de captación de carbono y su valor económico en un área de 10,6 hectáreas del Parque Nacional Waraira Repano (el Ávila). Ejecutaron un inventario forestal y calcularon algunas variables de interés, como biomasa e índice de carbono de las especies dominantes. Para la valoración económica del servicio ambiental se utilizó el precio promedio de la tonelada de CO₂ equivalente establecido en la bolsa europea de carbono. Se encontró que el área de estudio contiene al menos 4503,45 toneladas métricas de CO₂ equivalente (868,9 t CO₂/ha), valoradas en 59 856,15 USD.

3. Metodología

Se realizó la valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono en la RFI usando el modelo inVest 3.6.0, módulo SAC.

La Figura 10.1 muestra el método que usa el módulo del Modelo inVEST para obtener los mapas de carbono en los años estudiados y la valoración económica del secuestro de carbono entre los años de estudios.



Figura 10.1. Proceso general de modelación.

Dados los requerimientos de información del módulo SAC, se utilizaron Mapas de Coberturas / Uso del suelo actual y futuro (LULC) generados para el año 2000 (escenario actual) y año 2018 (escenario futuro), en el cual están definidas como categorías las establecidas por el IPCC (2003).

La base de la información para la cartografía digital y para la matriz de reservorio de carbono se presenta en los anexos 10.1 y 10.2. En el primero, se presenta la valoración ambiental del carbono de la biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta y en el segundo para determinar la valoración ambiental del carbono en el suelo. Ambos para los años 2000 y 2018 en la RFI.

Las Figuras 10.2 y 10.3 presentan las coberturas y uso actual del suelo para los años 2000 y 2018 respectivamente, usadas como base en el inVest 3.6.0.

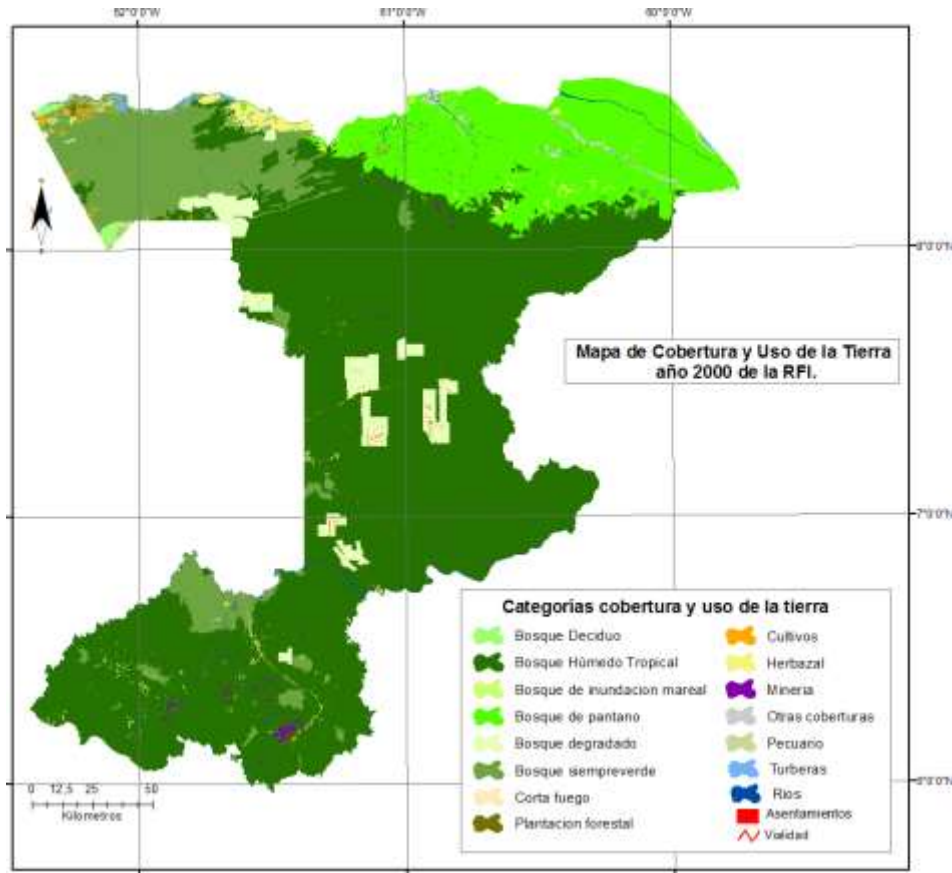


Figura 10.2. Mapa de cobertura y uso actual del suelo RFI, año 2000.
Fuente: anexo 10.1.

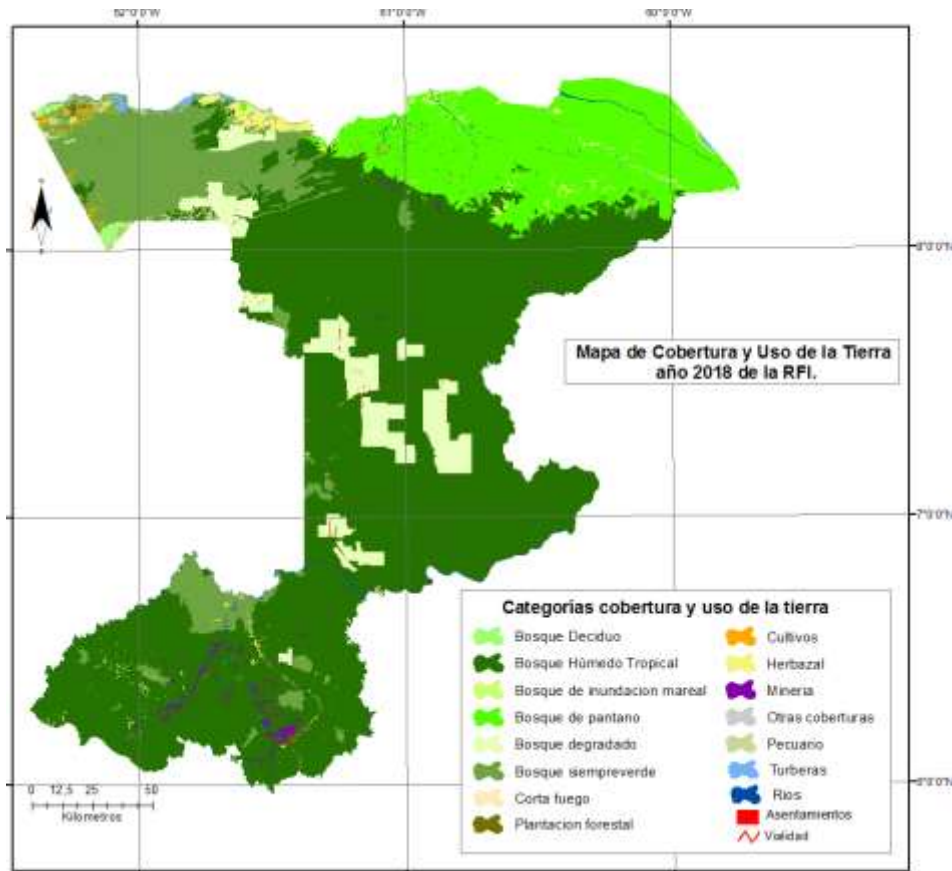


Figura 10.3. Mapa de cobertura y uso actual del suelo RFI, año 2018.

Fuente anexo 10.1.

Para la conformación de la matriz de reservorio de carbono, se definieron los valores para cada reservorio: biomasa aérea, biomasa del subsuelo, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y carbono orgánico en el suelo, por cada categoría del mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000 de la RFI, siguiendo las orientaciones de buenas prácticas del IPCC (2006). En la Tabla 10.2, se observan los valores promedios empleados para la estimación del carbono almacenado en los reservorios anteriormente mencionados.

Tabla 10.2. Valores promedio de carbono para cada reservorio en las diferentes categorías para el año 2000 en la RFI. (Anexos 10.1 y 10.2)

Categorías RFI	Reserva de carbono en biomasa viva		Reserva de carbono en biomasa muerta	Reserva de carbono orgánico en el suelo C (t/ha)
	Aérea	Subterránea	Materia orgánica muerta	
	C (t/ha)	C (t/ha)	C (t/ha)	
Bosque de inundación mareal	50,00	10,00	8,6	151,8
Bosque de pantano	115,11	27,63	14,76	128,06
Bosque deciduo estacional	84,43	20,26	11,39	88,36
Bosque degradado	79,85	19,16	10,88	97,24
Bosque húmedo tropical	159,7	38,33	19,67	106,09
Bosque siempreverde	139,08	33,38	17,4	123,61
Plantaciones forestales	45,29	10,87	7,08	213,76
Cultivos	5,00	-	-	163,55
Corta fuego	2,29	3,67	-	117,16
Herbazal	2,29	3,67	-	150,72
Pecuario	2,29	3,67	-	140,00
Turberas	39,17	7,83	-	202,05
Ríos	-	-	-	-
Asentamientos humanos	-	-	-	-
Vialidad	-	-	-	-
Minería	-	-	-	-
Otras Coberturas	-	-	-	123,99

Para la valoración económica existen diferentes precios del carbono. Estos vienen dados en función del mercado en el cual se busca incursionar. Para este estudio se utilizó el valor de 20,30 USD/t C (Espinel, 2017). Para la tasa de descuento del precio de carbono, r , se tomó la tasa de descuento social del 4%. En cuanto a la tasa anual de variación del precio del carbono, c , se asumió una tasa del 0% que es la sugerida por el NATCAP (2014).

4. Limitaciones

- Carencia de imágenes de satélites de baja nubosidad.
- Escases de datos disponibles de almacenamiento de carbono, con estudios previos de campo en la RFI.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Consideración única de estudios previos con omisión de muestreos de campo para la descripción de las características generales (relacionadas con la posición fisiográfica), las clases texturales y la erosionabilidad del suelo.
- Escasez de datos disponibles y/o confiables de las propiedades físicas y químicas de los suelos. En la Reserva la mayoría de muestreos de suelos están dirigidos al estudio de las propiedades físicas y químicas de este recurso, en áreas ya aprovechadas por la explotación forestal, por lo cual los resultados arrojados por los mismos no pudieron ser considerados al no representar fielmente las condiciones o propiedades naturales de los suelos sujetos a evaluación.
- Irregularidades del servicio de internet y electricidad.

5. Hallazgos y resultados

5.1. Carbono almacenado escenarios actual (año 2000) y futuro (año 2018)

Una vez implementada la ejecución del modelo, se obtuvo como resultados los mapas que muestran la cantidad de carbono almacenado en toneladas por hectárea (t/ha) para biomasa aérea, subterránea y muerta, y con y sin carbono en el suelo (COs), para los escenarios actual (año 2000) y futuro (año 2018).

Estos mapas se muestran separados de modo que se pueda ver la diferencia cuando se toma o no el COs.

En la Figura 10.4 se presenta la distribución espacial del almacenamiento de carbono sin carbono en el suelo para el escenario actual (año 2000). En la misma se puede apreciar que hay un patrón de aumento en el contenido de carbono mientras haya más densidad de vegetación en las coberturas. Aquellas con dominancia de estructura arbórea (bosques y plantaciones), obtuvieron los más altos valores de carbono por hectárea, seguido de las turberas y los sistemas agropecuarios.

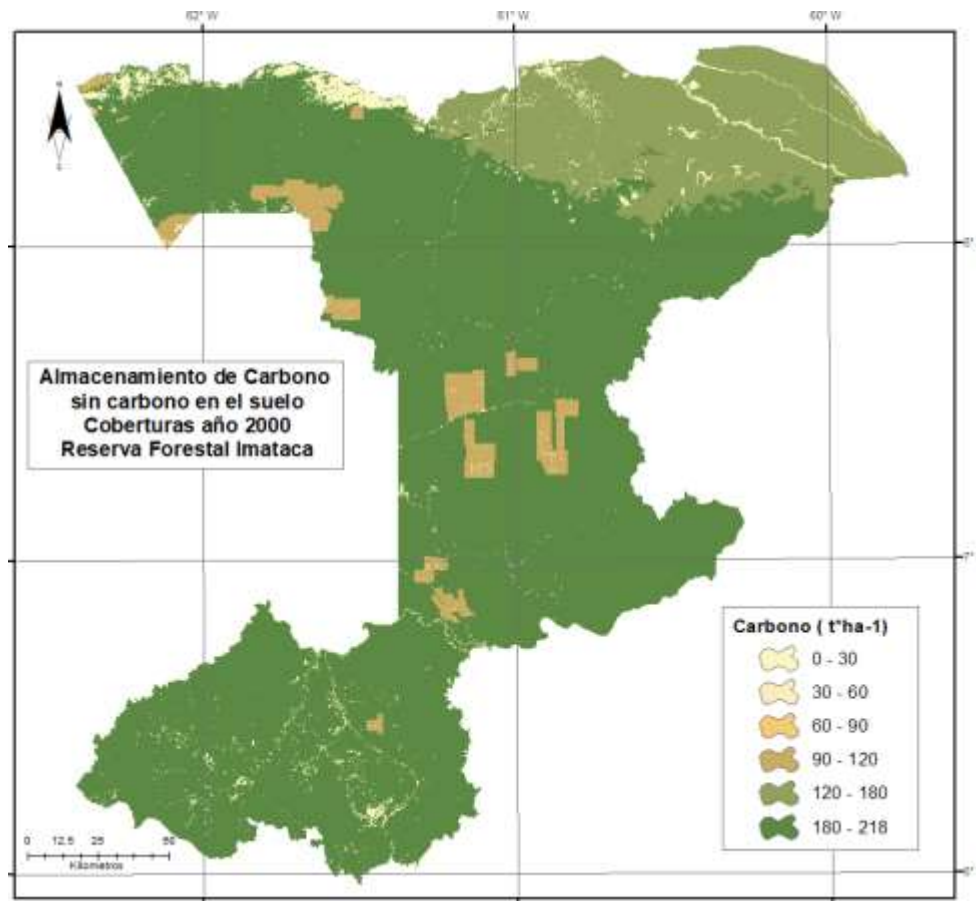


Figura 10.4. Almacenamiento de carbono sin carbono en el suelo, escenario actual (año 2000) en la RFI.

En la Tabla 10.3, se muestran las cantidades de carbono almacenado, sin carbono en el suelo, por superficie total para cada categoría en la RFI, para el año 2000.

En dicha Tabla se observa que el carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva y biomasa muerta es de 742 574 208,4 t C; de los cuales 674 943 312,2 t C (90,9%) corresponden a la biomasa viva y 67 630 896,2 t C (9,1%) a biomasa muerta. En la biomasa viva se tiene que el 73,3% (544 218 431,3 t C) pertenecen a la biomasa aérea y el 17,60% (130 724 880,8 t C) a la biomasa subterránea.

Del total de carbono almacenado en la RFI, se tiene que 539 878 804,4 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 72,70%; el bosque de pantano tiene 97 044 235,6 t C representando el 13,07% y el bosque siempreverde cuenta con 88 916 309,3 t C representando el 11,97%.

Tabla 10.3. *Carbono almacenado en biomasa aérea, subterránea y muerta en las diferentes categorías para el año 2000 en la RFI.*

Categorías RFI	Carbono Almacenado (t C)			Total
	Biomasa viva		Biomasa muerta	
	Aérea	Subterránea	Materia orgánica muerta	
Bosque de inundación mareal	586 032	117 206,4	100 797,5	804 035,8
Bosque de pantano	70 925 472,8	17 024 331,6	9 094 431,2	97 044 235,6
Bosque deciduo estacional	879 344	211 009,2	118 627,6	1 208 980,8
Bosque degradado	10 080 088,7	2 418 716,3	1 373 467,3	13 872 272,3
Bosque húmedo tropical	396 043 385,7	95 055 372,4	48 780 046,3	539 878 804,4
Bosque siempreverde	65 134 732,4	15 632 710,4	8 148 866,4	88 916 309,3
Plantaciones forestales	93 777,6	18 759,7	14 659,9	127 197,1
Cultivos	45 593,9	-	-	45 593,9
Corta fuego	1 569,8	2 515,8	-	4 085,7
Herbazal	103 526,1	165 913,1	-	269 439,2
Pecuario	9 551,0	15 306,6	-	24 857,6
Turberas	315 357,4	63 039,3	-	378 396,6
	544 218 431,3	130 724 880,8	67 630 896,2	742 574 208,4

En la Figura 10.5 se presenta la distribución espacial del almacenamiento de carbono para biomasa aérea, subterránea y muerta, con carbono en el suelo, para el escenario actual (año 2000).

En la misma, se puede apreciar que se mantiene el mismo patrón de aumento que en el caso sin carbono en el suelo. El contenido de carbono es mayor mientras más densidad de vegetación haya en la cobertura, de allí que las coberturas con dominancia de estructura arbórea (bosques y plantaciones) obtuvieron los más altos valores de carbono por hectárea, seguido de las turberas y los sistemas agropecuarios.

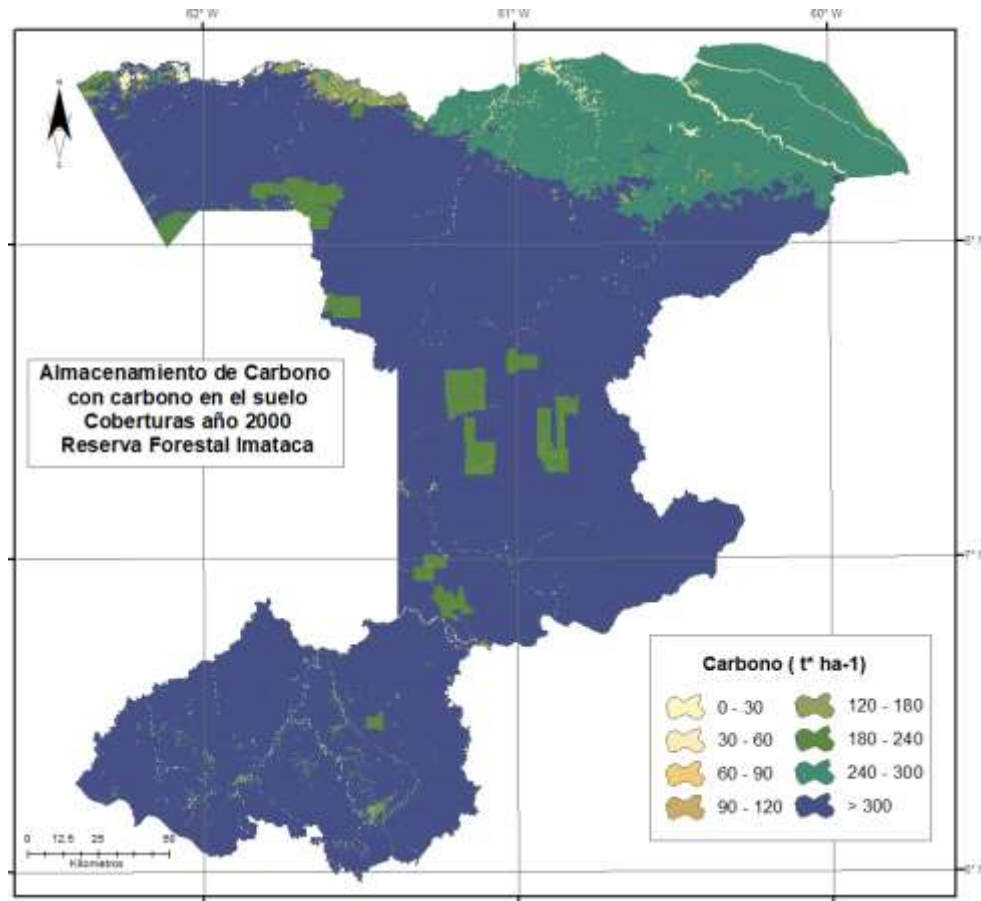


Figura 10.5. Almacenamiento de carbono con carbono en el suelo, escenario actual (año 2000) en la RFI.

En la Tabla 10.4 se muestran las cantidades de carbono almacenado en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, por superficie total para cada categoría en la RFI, para el año 2000. En dicha Tabla, se observa que del carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo es de 1 168 499 449,2 t C; de los cuales 674 943 312,2 t C (57,8%) corresponden a la biomasa viva y 425 925 240,8 t C (36,5%) corresponden al carbono orgánico en el suelo.

Del total de carbono almacenado en la RFI se tiene que 802 973 624,6 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 68,72%; el bosque de pantano tiene 175 948 901,2 t C representando el 15,06% y el bosque siempreverde cuenta con 146 806 043,8 t C representando el 12,56%.

Tabla 10.4. *Carbono almacenado en biomasa viva y muerta con carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso del suelo para el año 2000 en la RFI.*

Categorías RFI	Carbono Almacenado (t C)				Total
	Biomasa viva		Biomasa muerta Materia orgánica muerta	Carbono orgánico en el suelo	
	Aérea	Subterránea			
Bosque de inundación mareal	586 032	117 206,4	100 797,5	1 779 193,0	2 583 228,9
Bosque de pantano	70 925 472,8	17 024 331,6	9 094 431,2	78 904 665,5	175 948 901,2
Bosque decíduo estacional	879 344	211 009,2	118 627,6	920 275,2	2 129 256,0
Bosque degradado	10 080 088,7	2 418 716,3	1 373 467,3	12 275 364,1	26 147 636,4
Bosque húmedo tropical	396 043 385,7	95 055 372,4	48 780 046,3	263 094 820,2	802 973 624,6
Bosque siempreverde	65 134 732,4	15 632 710,4	8 148 866,4	57 889 734,5	146 806 043,8
Plantaciones forestales	93 777,6	18 759,7	14 659,9	442 611,8	569 808,9
Cultivos	45 593,9	-	-	1 491 378,0	1 536 971,9
Corta fuego	1 569,8	2 515,8	-	80 314,6	84 400,2
Herbazal	103 526,1	165 913,1	-	6 813 737,1	7 083 176,3
Pecuario	9 551,0	15 306,6	-	583 903,5	608 761,1
Turberas	315 357,4	63 039,3	-	1 626 703,0	2 005 099,7
Otras Coberturas	-	-	-	22 540,2	22 540,2
	544 218 431,3	130 724 880,8	67 630 896,2	425 925 240,8	1 168 499 449,2

En la Figura 10.6 se presenta la distribución espacial del almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, para el escenario futuro (año 2018). Al igual que en el escenario 2000, se observa que el almacenamiento de carbono es mayor en las categorías de mayor densidad de vegetación. Las coberturas con dominancia de estructura arbórea (bosques y plantaciones) muestran los valores más altos de carbono por hectárea.

En la Tabla 10.5 se muestran las cantidades de carbono almacenado en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, por superficie total, para cada categoría de uso del suelo en la RFI, para el año 2018. En dicha Tabla se observa que del carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva y biomasa muerta es de 729 464 325,5 t C, de los cuales 662 954 958,8 t C (90.9%) pertenecen a la biomasa viva y 66 509 372,6 t C (9,1%) a la biomasa muerta.

En cuanto a qué coberturas presentan mayor almacenamiento de carbono, se tiene que 519 431 598,9 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 71.21%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 97 528 747,3 t C, representando el 13,37 % y el bosque siempreverde con 86 270 678,6 t C, representando el 11,83%.

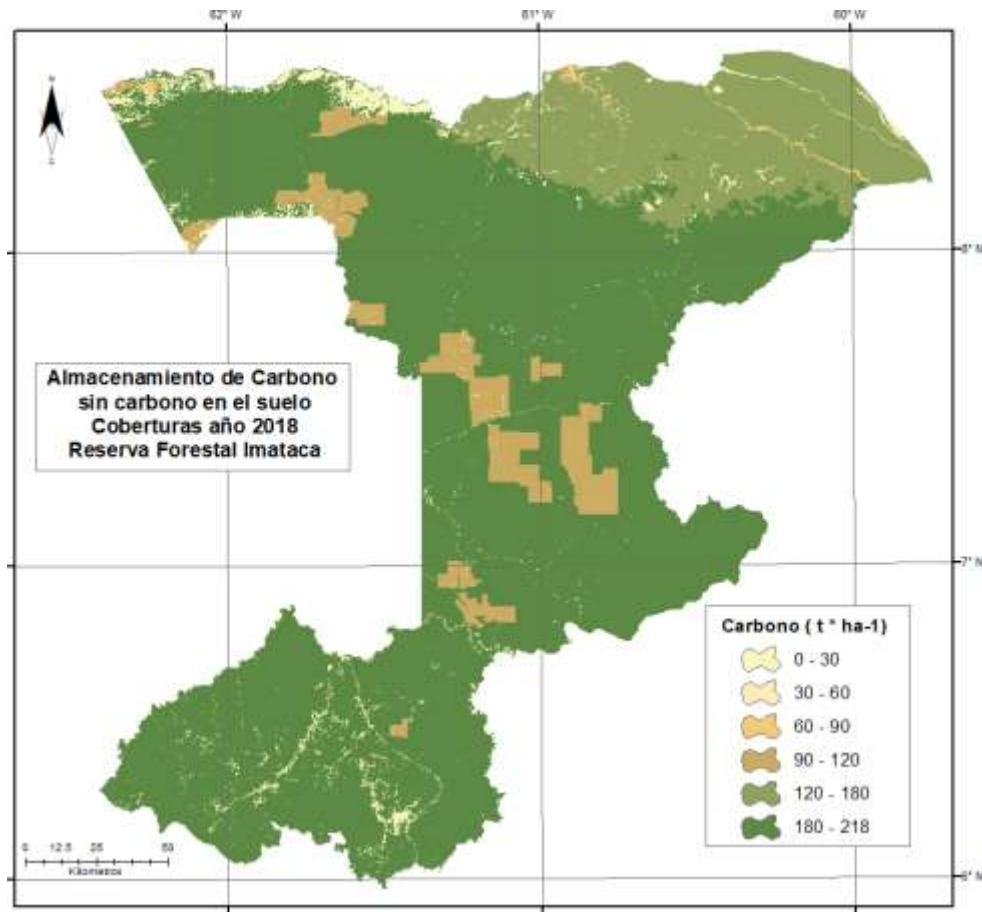


Figura 10.6. Almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, escenario futuro (año 2018) en la RFI.

Tabla 10.5. Carbono almacenado en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso, para el año 2018 en la RFI.

Categorías RFI	Carbono Almacenado (t C)			Total
	Biomasa viva		Biomasa muerta	
	Aérea	Subterránea	Materia orgánica muerta	
Bosque de inundación mareal	423 827,7	84 765,5	72 898,4	581 491,6
Bosque de pantano	71 279 581,6	17 109 328,8	9 139 836,9	97 528 747,3
Bosque decíduo estacional	828 911,7	198 907,4	111 824,0	1 139 643,2
Bosque degradado	17 109 237,8	4 105 360,0	2 331 227,4	23 545 825,3
Bosque húmedo tropical	381 043 759,1	91 455 274,2	46 932 565,7	519 431 598,9
Bosque siempreverde	63 196 702,2	15 167 572,2	7 906 403,7	86 270 678,6
Plantaciones forestales	93 500,4	18 704,2	14 616,5	126 821,1
Cultivos	60 232,0	0,0	0,0	60 232,0
Corta fuego	1 638,1	2 625,3	0,0	4 263,4
Herbazal	103 134,8	165 285,9	0,0	268 420,7
Pecuario	23 137,6	37 080,7	0,0	60 218,3
Turberas	372 019,2	74 365,9	0,0	446 385,1
	534 535 682,8	128 419 270,1	66 509 372,6	729 464 325,5

En la Figura 10.7 se presenta la distribución espacial del almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, para el escenario futuro (año 2018). Se puede observar que el mayor contenido de carbono se encuentra en las coberturas con más densidad de vegetación, de allí que las coberturas con dominancia de estructura arbórea fueron las que obtuvieron valores más altos de carbono por hectárea, seguido de las turberas y los sistemas agropecuarios.

En la Tabla 10.6 se presentan las cantidades de carbono almacenado en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, por superficie total para cada categoría de uso en la RFI, para el año 2018. En dicha Tabla se observa que, del carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, es de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo.

En cuanto a cuáles coberturas presentan mayor almacenamiento de carbono, se tiene que 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96%, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representando el 15,33% y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%.

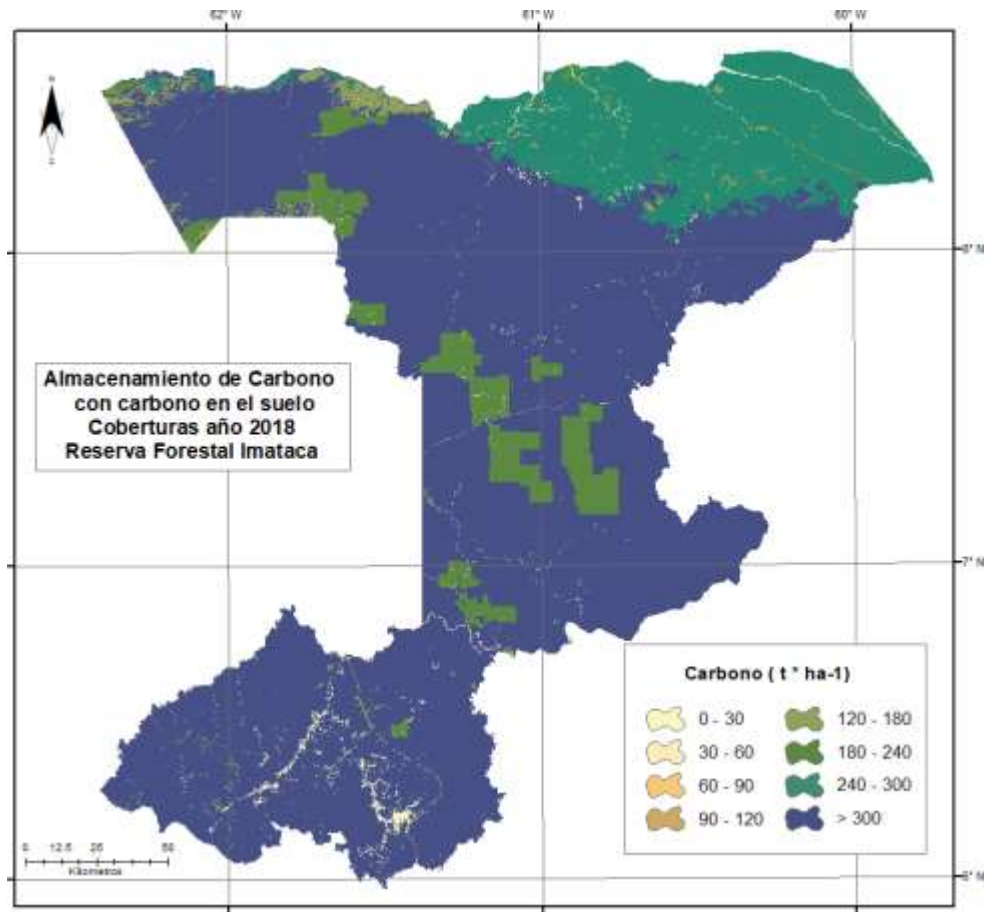


Figura 10.7. Almacenamiento de carbono en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, escenario futuro (año 2018) en la RFI.

Tabla 10.6. *Carbono almacenado en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo, en las diferentes categorías de uso, para del año 2018 en la RFI.*

Categorías RFI	Carbono Almacenado (t C)				Total
	Biomasa viva		Biomasa muerta	Carbono orgánico en el suelo	
	Aérea	Subterránea	Materia orgánica muerta		
Bosque de inundación mareal	423 827,7	84 765,5	72 898,4	1 286 741,0	1 868 232,6
Bosque de pantano	71 279 581,6	17 109 328,8	9 139 836,9	79 298 612,0	176 827 359,3
Bosque decíduo estacional	828 911,7	198 907,4	111 824,0	867 495,4	2 007 138,6
Bosque degradado	17 109 237,8	4 105 360,0	2 331 227,4	20 835 344,9	44 381 170,1
Bosque húmedo tropical	381 043 759,1	91 455 274,2	46 932 565,7	253 130 447,1	772 562 046,0
Bosque siempreverde	63 196 702,2	15 167 572,2	7 906 403,7	56 167 273,7	142 437 952,2
Plantaciones forestales	93 500,4	18 704,2	14 616,5	441 303,6	568 124,7
Cultivos	60 232,0	0,0	0,0	1 970 188,7	2 030 420,7
Corta fuego	1 638,1	2 625,3	0,0	83 808,0	88 071,3
Herbazal	103 134,8	165 285,9	0,0	6 787 981,7	7 056 402,4
Pecuario	23 137,6	37 080,7	0,0	1 414 523,9	1 474 742,2
Turberas	372 019,2	74 365,9	0,0	1 918 981,1	2 365 366,2
Otras Coberturas				22 540,2	22 540,2
	534 535 682,8	128 419 270,1	66 509 372,6	424 225 241,1	1 153 689 566,6

Comparando los valores de carbono almacenado en biomasa viva y muerta, sin carbono en el suelo, en la RFI, para el escenario actual (2000), 742 574 208,4 t C, con el escenario futuro (2018), 729 464 325,5 t C, se observa una disminución de 1,77%.

En cuanto a los valores de carbono almacenado en biomasa viva y muerta, con carbono en el suelo en la RFI, para el escenario actual (2000), 1 168 499 449,2 t C, comparándolos con el escenario futuro (2018), 1 153 689 566,6 t C, se observa una disminución de 1,27%.

5.2. Valor económico del carbono almacenado en la RFI año 2018 por categorías de uso del suelo

Se determinó el valor económico del carbono almacenado en la RFI, para el escenario futuro (2018), por categorías de uso del suelo, usando como precio del carbono el valor de 20,30 USD/t C. En la Figura 10.8 se muestra la distribución espacial de dicho valor en la RFI.

En la Tabla 10.7 se tienen los valores del carbono almacenado por categorías de las coberturas para el año 2018 en la RFI. En la misma se observa que la cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.

Usando los resultados de los valores totales de carbono almacenado para el año 2018 (Tabla 10.6) y un valor de 20,3 USD/t C, se obtuvo que el servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono para dicho año es 23 419 898 202 USD.

De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 USD (11,1%) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 USD (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 USD (36,8%) al carbono en el suelo.

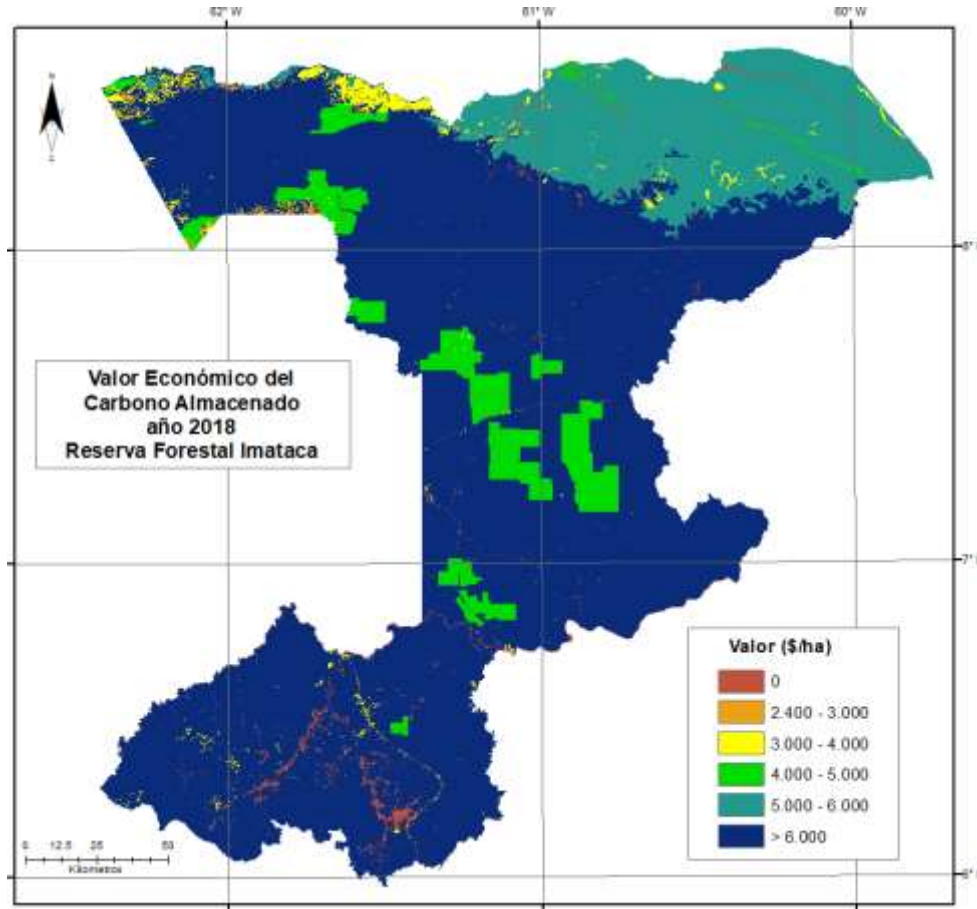


Figura 10.8. Distribución espacial del valor económico del carbono almacenado, año 2018, en la RFI.

Tabla 10.7. Valor económico del carbono almacenado, año 2018, por categorías de uso, en la RFI.

Categorías RFI	Valor económico carbono almacenado (USD/ha)
Bosque de inundación mareal	4 466
Bosque de pantano	5 806
Bosque Deciduo	4 141
Bosque degradado	4 202
Bosque Húmedo Tropical	6 577
Bosque siempreverde	6 354
Corta fuego	2 497
Cultivos	3 431
Herbazal	3 187
Otras coberturas	2 517
Pecuario	2 964
Plantación forestal	5 582
Turberas	5 055

5.3. Secuestro de Carbono entre los años 2000 y 2018

Al utilizar la rutina del inVEST, para determinar el secuestro y la liberación de C, entre los años 2000 y 2018 (18 años), se encontraron los resultados presentados en la Figura 10.9.

En la misma se puede observar la distribución espacial del secuestro y liberación de carbono. Esto permite identificar las zonas que presentan una disminución del bosque, lo que se interpreta como una pérdida del carbono almacenado (carbono liberado), correspondiendo a 116 105,4 ha, lo que equivale a 3,04% del total de la RFI. En cuanto al carbono secuestrado, se tienen 10 489,1 ha, equivalente a 0,27% de la RFI. En cuanto a los valores de pérdida del carbono y carbono secuestrado, expresados en toneladas de carbono, se tiene que 16 392 080,3 t C corresponden a pérdida del carbono almacenado, y 1 555 375,9 t C corresponden al carbono secuestrado. Un diferencial de 14 836 704,40 t C en los 18 años. Esto corresponde a una pérdida promedio anual de 824 261,36 t C/año. Es decir, casi un millón de toneladas de carbono por año.

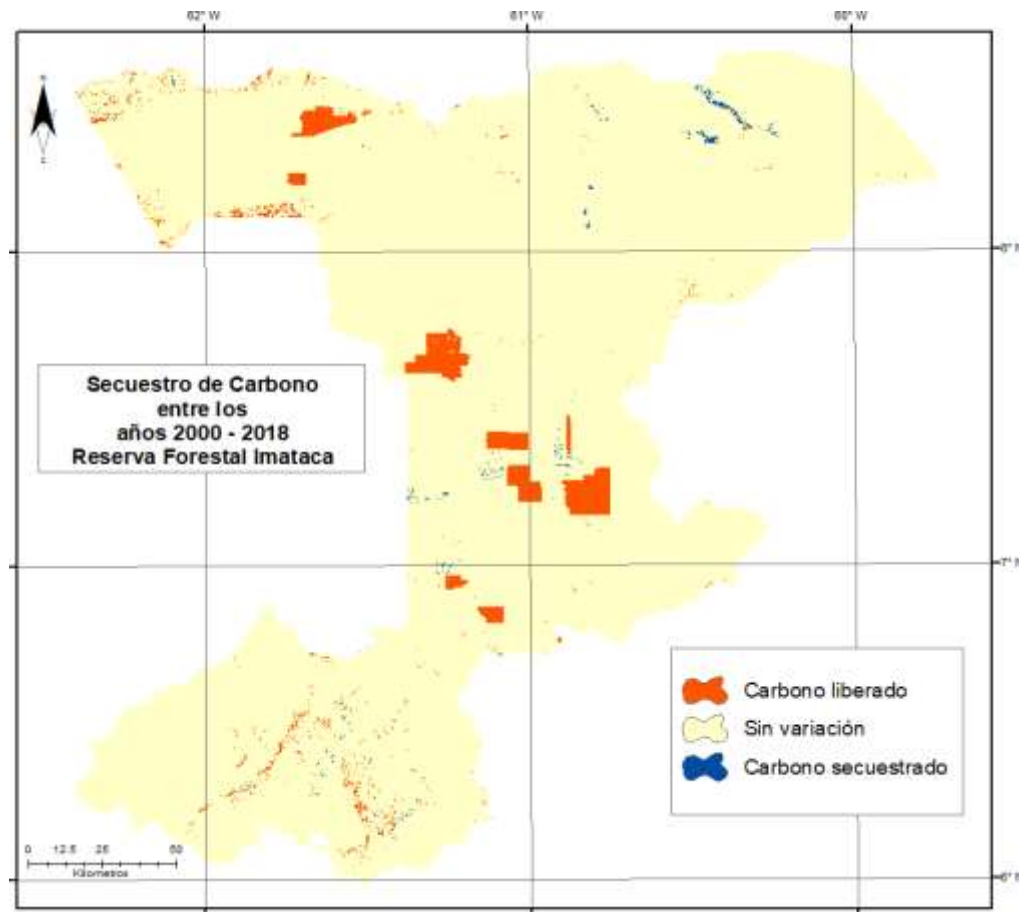


Figura 10.9. Distribución espacial del secuestro y liberación de carbono entre los años 2000 – 2018 en la RFI.

5.4. Valor económico del secuestro de carbono

Con base en los mapas de carbono de los años 2000 y 2018, el inVEST usa la ecuación 1, mencionada en la descripción del modelo para calcular el valor del secuestro de carbono.

Los datos introducidos en la ecuación fueron un valor de 20,30 USD/t C, una tasa r de 4% y una tasa c de 0%.

Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para el período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono.

Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono.

La Figura 10.10 muestra la distribución espacial del valor económico. En términos monetarios se tiene una pérdida de -55 518 USD/ha, lo que corresponde a -242 960 058,1 USD, y con respecto a las ganancias se tiene 48 824 USD/ha, lo que significa una ganancia 23 101 443,1 USD.

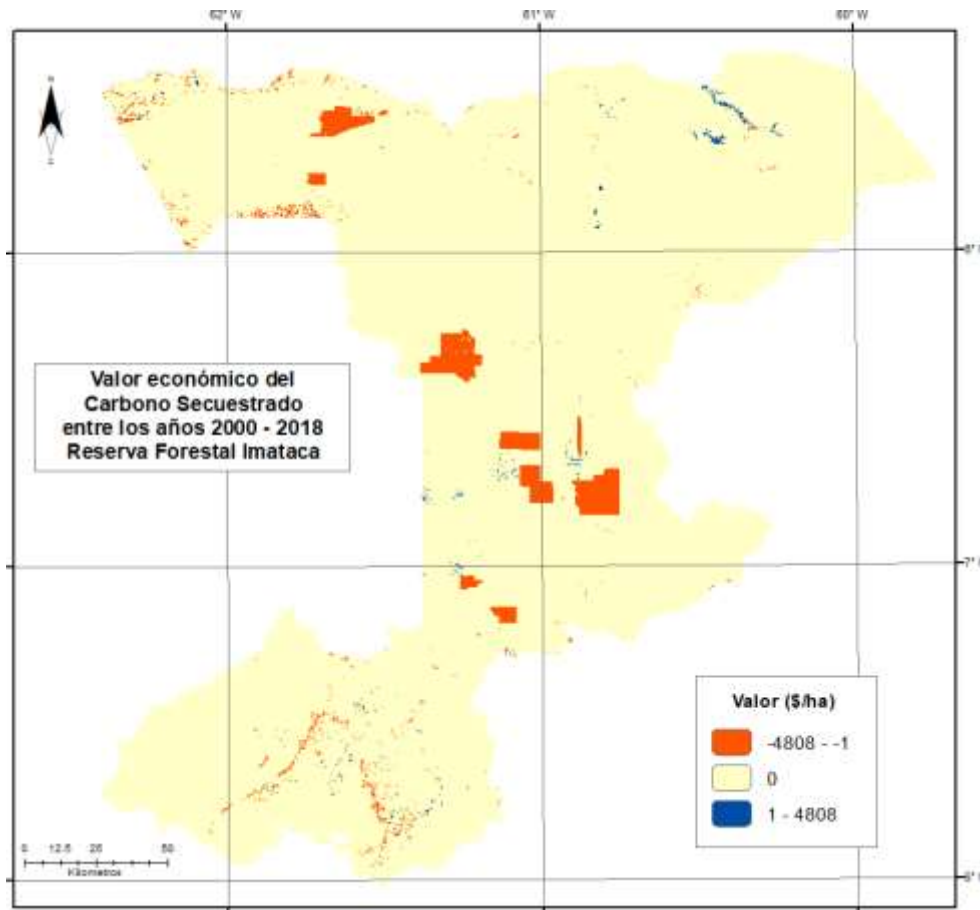


Figura 10.10. Distribución espacial del valor económico del carbono secuestrado entre los años 2000 – 2018 en la RFI.



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El modelo inVest 3.6.0 es de gran utilidad para la valoración ambiental y económica del atrape y almacenamiento de carbono de la RFI.
- Para el año 2000, se observó que el carbono almacenado en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo es de 1 168 499 449,2 t C; de los cuales 674 943 312,2 t C (57,8%) corresponden a la biomasa viva y 425 925 240,8 t C (36,5%) corresponden al carbono orgánico en el suelo.
- De ese total de carbono almacenado, se tiene que 802 973 624,6 t C corresponden al bosque húmedo tropical, lo que representa el 68,72%; el bosque de pantano tiene 175 948 901,2 t C representado el 15,06% y el bosque siempreverde cuenta con 146 806 043,8 t C representado el 12,56%.
- Para el año 2018 se observa que el carbono almacenado, en los depósitos de biomasa viva, biomasa muerta y carbono orgánico en el suelo, es de 1 153 689 566,6 t C; de los cuales 662 954 958,8 t C (57,46%) corresponden a la biomasa viva y 424 225 241,1 t C (36,77%) pertenecen al carbono orgánico en el suelo.
- De ese total, se tiene que 772 562 046,0 t C pertenecen al bosque húmedo tropical, lo que representa el 66,96 %, seguido por el bosque de pantano, el cual tiene 176 827 359,3 t C, representando el 15,33% y el bosque siempreverde, con 142 437 952,2 t C, lo que equivale al 12,35%.
- La Reserva Forestal Imataca tiene un valor de servicio ecosistémico de atrape y almacenamiento de carbono de 23 419 898 202 USD.
- De este total, 10 851 074 361 USD (46,3%) pertenece a la biomasa aérea; 2 606 911 183 (11,1%) a la biomasa subterránea; 1 350 140 264 (5,8%) a la materia orgánica muerta y 8 611 772 394 (36,8%) al carbono en el suelo.
- La cobertura con mayor valor es el bosque húmedo tropical, con un valor de 6 577 USD/ha, le sigue el bosque siempreverde con 6 354 USD/ha y el bosque de pantano con 5 806 USD/ha.
- Se encontró un valor, por secuestro de carbono para toda la RFI, de -219 865 253,60 USD, para el período comprendido entre 2000 y 2018. Esto debido a que en dicho período el balance fue negativo entre liberación y secuestro de carbono por causas de cambio en el uso del suelo.
- Esto representa una pérdida anual equivalente de 17 367 888,13 USD del servicio ecosistémico atrape y almacenamiento de carbono.
- El valor anterior significa una pérdida del 0,7 por mil del valor del SE en la Reserva.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6.2. Recomendaciones

- Usar los resultados como órdenes de magnitud que permitan tomar decisiones sobre la planificación del uso de la tierra de la Reserva.
- Realizar mediciones periódicas del almacenamiento de carbono, principalmente en biomasa aérea en diferentes coberturas de la RFI.
- Ejecutar un estudio semidetallado de suelos en la RFI.
- Usar otros precios referenciales de valor económico de la tonelada de carbono.
- Ejecutar análisis de sensibilidad para diferentes tasas de descuento para estimar el valor del secuestro de carbono.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



7. Bibliografía

Alatorre, J., K. Caballero y L. Jimy. 2019. *El costo social del carbono. Una visión agregada para América Latina*. CEPAL, documento de proyectos. (Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>). Acceso: 23 de agosto de 2019.

Banco Mundial. 2016. *Tendencias y precios del carbono*.

Banco Mundial. 2017. *Aumenta el número de países que han fijado un precio para el carbono, pero se requiere una acción más enérgica para lograr las metas del acuerdo de París*. (Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2017>). Acceso: 15 de agosto de 2019.

Barua, S.K. y Haque, S.M.S. 2013. *Soil characteristics and carbon sequestration potential of vegetation in degraded hills of Chittagong district, Bangladesh*. Land Degradation and Development, 24(1): 63–71.

Bautista, J. y Torres, J. 2004. *Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México*. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Espinel, D. 2017. *Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la cuenca del río Coca mediante el uso del software inVest para los escenarios propuestos del proyecto TEEB Ecuador*. (Proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica Nacional. Ecuador.

Eugeren, L. 2004. *El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas*. Volumen 83. Publicaciones de las Naciones Unidas.

González, D. 2008. *Valoración económica del servicio ambiental secuestro de carbono. Caso: zona central de la Reserva Forestal de Imataca*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Experimental de Guayana.

IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 632). Ginebra, Suiza. Publisher: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. (Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> Often referred to as IPCC AFOLU GL). Acceso: 11 de agosto de 2019.

Lemos, E. 2017. *Valoración económica del carbono orgánico total almacenado en el bosque siempreverde de Huangra, ubicado en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, Ecuador*. (Disponible en <http://190.15.135.60/bitstream/51000/3884/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0005.pdf>). Acceso: 13 de agosto de 2019.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



NATCAP. 2014. *Integrated valuation of ecosystem services and tradeoff*.

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., and Douglass, J. 2018. *INVEST 3.6.0.post58+ug.h5b4fd39666eb User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife.

Unión Europea. 2013. *El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE*. Unión Europea documentos.

Valera, V. y Carvaja, N. 2014. *Valoración económica del secuestro de carbono en un sector del Parque Nacional Waraira Repano, Caracas, Venezuela*. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/327405751>). Acceso: 22 de agosto de 2019.

Vilanova, E; H. Ramírez y A. Torres. 2010. *El almacenamiento de carbono en biomasa aérea, como indicador del impacto de aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal de Imataca, Venezuela*. Interciencias, Volumen 35, número 9.

Zuluaga, L. y E. Castro. 2018. *Valoración de servicios ambientales por captura de CO₂ en un ecosistema de bosque seco tropical en el municipio de el Carmen de Bolívar, Colombia*. (Disponible en: http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/downloads/Lunazul47_1.pdf). Acceso: 14 de agosto de 2019.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Anexo 10.1

Valoración ambiental del carbono en biomasa aérea, subterránea y materia orgánica muerta

1. Introducción

Dentro del valor de uso indirecto, se considera la determinación del valor económico del atrape y almacenamiento de carbono, que incluye los depósitos terrestres de carbono, representados por la biomasa viva aérea, biomasa viva subterránea, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y en los suelos.

En la Reserva Forestal Imataca (RFI) no se han realizado dichas estimaciones, razón por la cual surge la necesidad en el marco de esta consultoría, estimar las emisiones evitadas directas e indirectas de la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta y biomasa en el suelo, a partir del cambio de usos de la tierra, para el periodo 2000 – 2018, y en especial de los procesos de deforestación y degradación forestal que estos producen.

Se planteó como estrategia, en primer lugar, generar los mapas de cobertura de uso de la tierra de la RFI para los años 2000 y 2018, con las categorías establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y datos de sensores remotos; en segundo lugar, evaluar las incertidumbres en las estimaciones del área de los datos de actividad en los años 2000 y 2018; en tercer lugar, determinar los cambios de cobertura y uso de la tierra para el periodo 2000-2018 en la RFI; en cuarto lugar, calcular el Carbono (C) almacenado en la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta y biomasa en el suelo en la RFI para los años 2000 y 2018, siguiendo las Orientaciones sobre las Buenas Prácticas (OBP) del IPCC; en quinto lugar, estimar las emisiones/absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018, asumiendo un cambio lineal de secuestro de carbono en el tiempo; y, en sexto lugar, calcular el carbono almacenado y sus cambios a través del InVEST.

En este sentido, en el presente informe se describen los materiales, métodos y resultados, para cumplir con todas las estrategias señaladas anteriormente y así estimar las emisiones evitadas en los distintos depósitos terrestres de carbono de la RFI entre el 2000 y 2018.

2. Metodología

2.1. Materiales

Para calcular el C en los depósitos terrestres de la RFI en los años 2000 y 2018, y después realizar la estimación de las emisiones evitadas directas e indirectas en los depósitos de biomasa terrestres de la RFI, fue necesario la utilización de una serie de programas informáticos, equipos computacionales, datos de C, e imágenes de sensores ópticos-electrónicos, los cuales se describen a continuación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2.1.1. Programas y equipos utilizados: para la elaboración de los mapas de cobertura y uso de la tierra del 2000 y 2018, se emplearon los programas: TerraAmazon 7.1.0, para la edición e interpretación de las imágenes; ArcGis 10.2.1, para la georreferenciación, análisis espaciales y geoestadísticos; el ENVI 5.3, para el procesamiento digital de imágenes y determinar la incertidumbre de la cartográfica; y, TerrSet para el análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra. Con relación a las características de las tres computadoras empleadas fueron: Intel® Core™ i7 – 7700HQ @ 2.80 GHZ, RAM 32 GB (Portátil).

2.1.2. Datos Cartográficos: se utilizó el mosaico de las cartas cartográficas a 1/100 000, el mapa de unidades de ordenamiento de la RFI actualizado por el MINEC en el año 2017, el mapa de sistemas ecológicos (macroecosistemas) de la RFI, mapa de actividad minera de la RFI del año 2004, el mapa de vegetación y uso de la tierra de la RFI del año 2003.

2.1.3. Valores de biomasa y C almacenado: se empleó el producto global de Reserva de C de biomasa aérea generado por Avitabile *et al.* (2016), junto a los valores de biomasa establecidos en las Tablas de la OBP del IPCC y sus factores de transformación a C almacenados, para los ecosistemas tropicales (IPCC, 2006); así como, los valores reportados en algunos estudios científicos para el ecosistema de estudio, los cuales sirvieron, tanto para la estimación de biomasa y C almacenado, como, para compararlos y determinar las incertidumbres.

2.1.4. Imágenes de sensores ópticos-electrónicos: para evaluar las coberturas de uso de la tierra, se utilizó como fuente principal de datos espaciales las imágenes de sensores óptico-electrónicos, procedentes de las diferentes versiones del programa Landsat. Estas imágenes fueron obtenidas gratuitamente del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), a través de su servidor USGS Global Visualization Viewer (GLOVIS) (<http://glovis.usgs.gov/>). Antes de utilizar dicho servidor fue necesario conocer los Path (órbitas aproximadas del satélite) y los Row (centros nominales de la imagen) del Sistema de Referencia Mundial (Worldwide Reference System - WRS) de Landsat, el cual permitió conocer la ubicación de las imágenes satelitales obtenida por los satélites Landsat dentro de la RFI (Figura 1).



Figura 1. Código de las imágenes satelitales LandSat que abarcan la RFI.

Una vez conocido los Path/Row de la RFI, se procedió a seleccionar y a descargar las imágenes Landsat, en este proceso se detectó que ninguna de las imágenes se encuentra libre de nubes, por lo que se descargó en la mayoría de los casos más de una imagen por Path/Row, para determinar la información ocultada debajo de las nubes y sombras de nubes, el criterio asumido para ello fue la obtención de imágenes más o menos 2 años a los años de referencia (2000 y 2018). En la Tabla 1 se detalla que fueron necesarias 16 y 21 imágenes para la realización del mapa del año 2000 y 2018 respectivamente.

Tabla 1. *Imágenes utilizadas en la elaboración de los mapas de la RFI de 2000 y 2018.*

Año	Path/Row	Fecha	Imagen
2000	233/056	2/11/2000	L5233056_05620001102
		17/10/2000	LT05_L1TP_233056_20001017_20161213_01
	233/055	12/12/2000	LE07_L1TP_233055_20001212_20170208_01
		26/9/2001	LE07_L1TP_233055_20010926_20170203_01
		17/10/2000	L5233055_05520001017
		7/9/2000	LE07_L1TP_233055_20000907_20170210_01
	232/055	23/9/2000	LE07_L1TP_233055_20000923_20170209_01
		17/7/2001	LE07_L1TP_232055_20010717_20170204_01_T1
	001/054	19/12/2000	LE07_L1TP_001054_20001219_20170208_01_T1
		24/10/2000	LT05_L1TP_001054_20001024_20161213_01_T1
	233/054	7/9/2000	LE07_L1TP_233054_20000907_20170210_01_T1
		23/9/2000	LE07_L1TP_233054_20000923_20170209_01_T1
		13/9/2002	LE07_L1TP_233054_20020913_20170129_01_T1
		29/2/2000	LT52330542000291AAA02
	232/054	15/8/2000	LE07_L1TP_232054_20000815_20170210_01_T1
		21/8/2002	LE07_L1TP_232054_20020821_20170129_01_T1

Año	Path/Row	Fecha	Imagen	
2018	233/056	5/2/2018	LC08_L1TP_233056_20180205_20180221_01_T1	
		9/3/2018	LC08_L1TP_233056_20180309_20180320_01_T1	
		6/12/2018	LC08_L1TP_233056_20181206_20181211_01_T1	
		22/12/2018	LC08_L1TP_233056_20181222_20181227_01_T1	
	233/055	29/8/2018	LC08_L1TP_233055_20170829_20180301_01_T1	
		3/10/2018	LC08_L1TP_233055_20181003_20181010_01_T1	
		1/3/2018	LE07_L1TP_233055_20180301_20180327_01_T1	
		12/11/2018	LE07_L1TP_233055_20181112_20181208_01_T1	
	232/055	2018-27-12	LE08_L1TP_232055_20182712_20181007_01_T1	
	001/054	21/9/2017	LC08_L1TP_001054_20170921_20171012_01_T1	
		17/1/2017	LC08_L1TP_233054_20170117_20170311_01_T2	
		23/4/2017	LC08_L1TP_233054_20170423_20170502_01_T1	
		25/5/2017	LC08_L1TP_233054_20170525_20170614_01_T1	
		233/054	29/8/2017	LC08_L1TP_233054_20170829_20180301_01_T1
			14/9/2017	LC08_L1TP_233054_20170914_20170928_01_T1
			16/8/2018	LC08_L1TP_233054_20180816_20180829_01_T1
			3/10/2018	LC08_L1TP_233054_20181003_20181010_01_T1
		232/054	10/1/2017	LC08_L1TP_232054_20170110_20170311_01_T1
			6/8/2017	LC08_L1TP_232054_20170806_20170813_01_T1
	22/8/2017		LC08_L1TP_232054_20170822_20170911_01_T1	
9/10/2017	LC08_L1TP_232054_20171009_20171024_01_T1			

22 Metodología

Para estimar las emisiones evitadas directas e indirectas de los depósitos de biomasa terrestres que involucran la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y biomasa en el suelo en la RFI, producto de los usos de tierra en los años 2000 y 2018, se utilizó las directrices de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU) del IPCC de 2006 (IPCC, 2006), las cuales emplean las categorías y subcategorías de uso de la tierra de la OBP para Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) de 2003 (IPCC, 2003).

Las directrices del IPCC integran, los Datos de Actividad (DA), que evalúa las actividades del uso de la tierra y sus cambios en las distintas categorías y subcategorías, con los Factores de Emisión (FE), que evalúa las Reservas de C y sus cambios. Esta integración permitió estimar en la RFI las Reservas de C terrestres para los años 2000 y 2018, así como, las emisiones/absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018. Para lograr esta estimación se ejecutaron una serie de pasos que involucraron, la elaboración de los mapas de cobertura y uso de la tierra años 2000 y 2018, la determinación de las incertidumbres de los mapas de 2000 y 2018, el análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra 2000-2018, el cálculo del carbono almacenado en la biomasa aérea (AGB), subterránea, materia orgánica muerta (MOM) para la RFI en los años 2000 y 2018,



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



y la estimación emisiones/absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018. A continuación, se detallan dichos pasos.

2.2.1. Elaboración de los mapas de cobertura de uso de la tierra de la RFI de 2000 y 2018

Los mapas de cobertura de uso de la tierra de la RFI de los años 2000 y 2018 fueron la base para determinar los DA necesarios en el cálculo de C en los depósitos de biomasa terrestres y en la estimación de emisiones/absorciones de Reservas de C. En este sentido, al considerar el mapeo completo de la RFI que permitió determinar los usos de la tierra, la estratificación de los bosques y posteriormente los cambios de las tierras forestales, el procedimiento seguido según las directrices del IPCC fue el *Procedimiento 3*, que involucró el mayor nivel de detalle para determinar los DA (IPCC, 2006), este consideró la definición de los siguientes elementos:

Criterios cartográficos: antes de llevar a cabo cualquier proyecto que involucre la elaboración de mapas, es necesario precisar una serie de criterios cartográficos, que permitirán establecer los lineamientos sobre los cuales se elaborará dicha cartografía. Para este caso particular de la generación del mapa de cobertura de uso de la tierra de la RFI para los años 2000 y 2018, se establecieron varios criterios dentro de los que se encuentran, la definición de los conceptos de bosque, deforestación y degradación forestal, la unidad mínima de interpretación, el sistema de coordenadas y la leyenda.

- **Bosque:** es importante contar con una definición clara de bosque, ya que la misma permitirá estimar la deforestación y otros cambios detectados en las imágenes utilizadas. La definición de bosque asumida fue derivada, por un lado, de la Ley de Bosque y Gestión Forestal del 2008 (Venezuela, 2008), que indica que los bosques nativos deben poseer una superficie mínima de 0,5 ha; y, por otro lado, de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que indica que la cobertura mínima de copa de árboles es del 10% y que el potencial de alcanzar una altura mínima de madurez in situ es de 5 m (FAO, 2010, 2015).
- **Deforestación:** en cuanto a la definición de deforestación, la asumida en esta consultoría, es tomada de la Decisión 11/CP.7 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) esta comenta que la deforestación se define como "...la conversión directa, inducida por el hombre de tierras boscosas en tierras no forestales." (UNFCCC, 2011).
- **Degradación forestal:** es un tipo de intervención antropogénica que conduce a cambios en la cubierta forestal, en la estructura y/o en la composición y en la función del bosque original, los cambios pueden ser temporarios o permanentes, los cuales traen consecuencias en la biodiversidad, las Reservas de carbono, los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, el suelo y otros servicios ambientales. La degradación forestal es originada según Houghton *et al.* (2012) por la recolección de leña, los incendios, el pastoreo y el aprovechamiento forestal selectivo, esta última actividad fue evaluada en esta consultoría.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Unidad mínima de interpretación (UMI) y la línea base: la UMI asumida fue de 0,5 ha, y como línea base el año 2000 y año de evaluación temporal el 2018.
- Sistema de coordenadas: se asumió el sistema de coordenada Universal Transversal Mercator (UTM), zona 20 del hemisferio norte y el datum WGS84 – Regven (Sistema Geodésico Mundial 1984 - Red Geocéntrica Venezolana), datum oficial para Venezuela desde el año 1999 según la Gaceta Oficial N.º 36.653.
- Leyenda: en cuanto a la leyenda, se consideró como base las categorías de uso de suelo de la OBP-UTCUTS de 2003, la cual se adaptó a las condiciones propias de la RFI, el resultado de esta adaptación originó 17 subcategorías de uso de la tierra, a las cuales se les estimó las Reservas de carbono terrestres y las emisiones y absorciones de C debido a los procesos de deforestación y degradación forestal (Tabla 2).

Tabla 2. *Categorías y subcategorías empleadas en los mapas de 2000 y 2018 de la RFI.*

Categorías IPCC 2003	Subcategorías RFI	Código
Tierras forestales	Bosque de inundación mareal	Bim
	Bosque de pantano	Bp
	Bosque deciduo estacional	Bde
	Bosque degradado	Bd
	Bosque húmedo tropical	Bht
	Bosque siempreverde	Bsv
	Plantación forestal	Pf
Tierras agrícolas	Cultivos	C
Pastizales (Praderas)	Corta fuego	Cf
	Herbazal	H
	Pecuario	P
Humedales	Ríos	R
	Turberas	T
Asentamientos	Asentamientos humanos	Ah
	Minería	M
	Vialidad	V
Otras tierras	Otras Coberturas	Oc

Análisis de los datos satelitales: el método de delineación utilizado fue la interpretación visual en pantalla, con los criterios establecidos por Chuvieco (2008), para diferenciar cada una de las coberturas presente en el área de estudio en función de la leyenda establecida, estas están referidas a:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- El color: para la interpretación visual las múltiples combinaciones del color proporcionan el realce de los diferentes elementos en las cubiertas vegetales, así como la discriminación de cada elemento. En este caso particular las combinaciones utilizadas fueron a falso color, para las imágenes de LandSat 7 se formaron con las bandas 453, mientras que para las imágenes LandSat 8 las bandas fueron 564, estas combinaciones permitieron a través del color diferenciar los límites de las diferentes coberturas, especialmente las correspondientes a la vegetación.
- El tono: se toma en cuenta la intensidad de energía solar recibida por el sensor para una determinada banda del espectro electromagnético, relacionando la respuesta espectral de las distintas cubiertas, para las bandas particulares del espectro en el que se desee trabajar.
- La forma: se considera la configuración general de los bordes o límites del objeto u elemento contenido en la escena, dando la característica particular para ser clasificado, o del mismo modo para asignarlo a un grupo de formas comunes.
- El tamaño o dimensión: con que se observan los objetos en la imagen depende de sí mismo y de la resolución espacial de la imagen, la experiencia del interprete y el conocimiento previo del área de estudio permitirán diferenciar con mayor precisión los objetos censados en las imágenes.
- La textura: se refiere a la impresión visual de suavidad o asperezas creada por la imagen de detalle u objetos en el terreno, debido a la alternancia de las zonas iluminadas y las zonas de sombras de estos que se repiten.
- El patrón espacial: disposición particular de los diferentes elementos contenidos en la escena. Existen patrones naturales que por lo general están bien definidos, en líneas sinuosas, los patrones artificiales lo definen formas geométricas.

Con estos criterios se procedió a realizar la interpretación, mediante la utilización de los Lentes ChromaDepth 3D, esta herramienta basa su funcionamiento en la desviación que producen los colores del espectro los lentes poseen cristales transparentes con micropismas los cuales desvían ligeramente la luz dependiendo de su longitud de onda: más desviación en el rojo, menos en el azul (Escrivá, Vicent y Camahort, 2006). Los lentes incorporaron una visión estereoscópica del área de estudio, permitiendo observar los bosques en 3D.

Integración cartográfica de la interpretación: con los criterios comentados anteriormente se interpretaron originalmente trece (13) categorías de uso de la tierra, dentro de la categoría bosque, a excepción del bosque de inundación mareal y las plantaciones forestales, se interpretó en una sola categoría, con la finalidad de discriminar las diferentes categorías de bosque, se procedió a generar una integración cartográfica de la interpretación realizada para el 2000 y 2018, con el mapa de macroecosistemas de Berroterán (2003) y con el mapa de concesiones forestales del MINEC (2017). Con el mapa de macroecosistemas se diferenciaron cuatro categorías de bosque: bosque deciduo estacional, bosque húmedo tropical, bosque siempreverde y bosque de pantano; mientras que, con el mapa de concesiones forestales, se



diferenció el bosque degradado mediante la localización espacial de los diferentes compartimientos aprovechados forestalmente dentro de las Unidades de Manejo Forestal (UMF) en la RFI, desde la década de los ochenta hasta la década de los dos mil para el mapa de 2000, y de la década de los dos mil hasta la del dos mil diez para el mapa de 2018.

2.2.2. Evaluación de la incertidumbre de los mapas de 2000 y 2018

Una vez realizados los mapas de cobertura y uso actual de la tierra de los años 2000 y 2018, resultó necesario auditar la calidad de estos, de cara a conocer la incertidumbre de los productos generados y valorar el grado de acuerdo con la realidad. Este proceso de auditoría requiere comparar el resultado con una fuente externa, que se considere fiel representante de la realidad presente en el terreno. Como lógicamente no es posible tener toda esa información para toda la RFI, el proceso de auditoría requiere aplicar técnicas de muestreos, que permita estimar, con la mayor precisión y el menor tiempo posible, el error que contiene el resultado (Chuvieco, 2008).

En este punto se siguió las sugerencias de los científicos quienes recomiendan utilizar expertos externos, para seleccionar aleatoriamente los puntos de auditoría en cada clase y con base a las mismas imágenes que fueron utilizadas para la elaboración de los mapas (Congalton y Green, 2009). Para este caso el experto externo seleccionó 50 puntos muestras para cada clase de cada mapa (Congalton, 1988). A manera de ejemplo en la Figura 2, se detallan las muestras de verdad terreno para cada una de las clases sobre las imágenes LandSat que fueron utilizadas para generar el mapa del año 2000, con estas muestras de verdad-terreno se cuantificó la incertidumbre de dicho mapa.

Este análisis se realizó mediante el cálculo de la matriz de confusión, a partir de la cual se obtuvo los errores de omisión, comisión y de precisión global (Congalton y Green, 2009). Asimismo, se obtuvo el estadístico K (Cohen, 1960) para medir la precisión o acuerdo basado en la diferencia entre el error de la matriz y acuerdo en los cambios (Rosenfield y Fitzpatrick-Lins, 1986), mediante la aplicación de la ecuación 1:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}$$

(Ecuación 1)

Donde:

n es el número total de casos,

X_{ii} se refiere al acuerdo observado y el producto de los marginales (X_{i+}, X_{+i}) el acuerdo esperado en cada clase.

Cálculo de las ganancias (G_{ij}) y pérdidas (L_{ij}): de la matriz de tabulación cruzada se determinaron los parámetros de ganancias (Ecuación 2) y pérdidas (Ecuación 3).

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$$

(Ecuación 2)

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$$

(Ecuación 3)

Donde:

G_{ij} es la ganancia,

P_{+j} es la sumatoria de la columna en cuestión,

P_{jj} es el valor de la diagonal principal de la columna en cuestión, y,

L_{ij} son las pérdidas,

$P_{(j+)}$ es la sumatoria de la fila en cuestión.

Cálculo de la tasa media anual de deforestación: el proceso de deforestación se cuantificó y analizó mediante la tasa media anual de pérdida de bosque planteada por Sader y Joyce (1988) (Ecuación 4):

$$TMAD = \frac{\text{Bosque1} - \text{Bosque2}}{\text{Bosque1} * N} * 100$$

(Ecuación 4)

Donde TMAD es la tasa media anual de deforestación, Bosque1 es la superficie del bosque del año 2000 y Bosque2 es la superficie del bosque del año 2018, ambas involucran la suma de todas las categorías de bosques en sus respectivos años, y N el número de años considerados en cada periodo en este caso 18.

2.2.4. Cálculo del C almacenado en la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y biomasa en el suelo en la RFI para los años 2000 y 2018

Una vez determinados los DA para los años 2000 y 2018 a través de los mapas de cobertura y uso de la tierra, se procedió a estimar las Reservas de C en cada una de las categorías de dichos mapas, para ello se definió, en primer lugar, los conceptos de los diferentes depósitos de C, y, en segundo lugar, los valores promedios por ha de C en dichos depósitos, en función de los niveles señalados por el IPCC.

Definición de depósitos de carbono: antes de describir la metodología utilizada para la estimación de los depósitos terrestres de C, es importante señalar la definición de estos. En este sentido, en la Tabla 4 se detalla la conceptualización establecida por el IPCC a los depósitos terrestres aproximados, estos están conformados por cinco, los cuales se estimaron en esta consultoría.

Tabla 4. Definiciones de los depósitos terrestres del IPCC.

Depósito		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre el suelo (Biomasa aérea)	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje. Nota: Cuando el sotobosque es un componente relativamente pequeño del depósito de carbono de biomasa sobre el suelo se puede excluir de las metodologías y datos asociados utilizados en algunos niveles, siempre y cuando los niveles se utilicen de manera coherente en todas las series cronológicas de inventarios.
	Biomasa bajo el suelo (Biomasa subterránea)	Toda la biomasa viva de raíces vivas. A veces se excluyen raíces finas de menos de (sugerido) 2mm de diámetro porque con frecuencia no se pueden distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo o mantillo.
Depósito		Descripción
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Comprende toda la biomasa boscosa no viva no contenida en el mantillo, ya sea en pie, superficial o en el suelo. La madera muerta comprende la que se encuentra en la superficie, raíces muertas y tocones de 10 cm de diámetro o más o de cualquier otro diámetro utilizado por el país.
	Mantillo (Detritus)	Comprende toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo elegido por el país (por ejemplo, 10 cm), que yace muerta, en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico. Comprende las capas de detritus, fúmica y húmica. Las raíces finas vivas (de tamaño inferior al límite de diámetro sugerido para la biomasa bajo el suelo) se incluyen en el mantillo cuando no se pueden distinguir empíricamente de él.
Suelos	Madera orgánica del suelo	Comprende el carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (incluida la turba) a una profundidad especificada elegida por el país y aplicada coherentemente mediante las series cronológicas. Las raíces finas vivas (de tamaño inferior al límite de diámetro sugerido para la biomasa bajo el suelo) se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no pueden distinguirse empíricamente de ella.

Fuente: Guía de OBP del IPCC (2006).

Estimación de C de la biomasa área: debido a la escasa información de la RFI y del país, referente a los datos de levantamiento de parcelas en las diferentes categorías de uso de la tierra, en esta consultoría se empleó el *Nivel 1* para la estimación de C de la biomasa aérea, la biomasa subterránea, la materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y la biomasa en el suelo, en las diferentes categorías del mapa de uso de la tierra que poseen estos depósitos, este nivel utiliza valores de C por defectos que proporciona el IPCC, para las seis clases de cada área continental a fin de abarcar las diferencias en elevación y zona climáticas general.

Para el caso del C de la biomasa aérea de las tierras forestales, que incluye el bosque de inundación mareal, el bosque de pantano, el bosque deciduo estacional, el bosque degradado, el bosque húmedo tropical, el bosque siempreverde y las plantaciones forestales, así como, los humedales específicamente las Turberas, se utilizó para obtener dichos valores, el mapa de Reserva de C de biomasa de Avitabile *et al.* (2016), el cual es una mejora con respecto a los valores predeterminado por el IPCC para este nivel, a pesar de poseer una incertidumbre para el área de estudio del 25% (Avitabile *et al.*, 2016) (Figura 3).

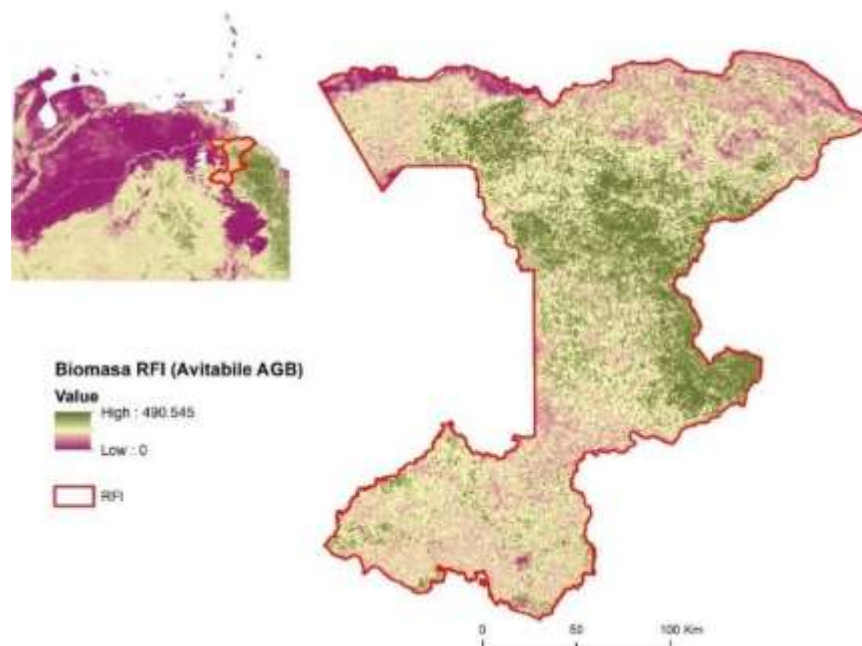


Figura 3. Mapa de AGB para la RFI
Fuente: Avitabile *et al.*, 2016.

Mediante una estratificación realizada del mapa de Reserva de C de Avitabile *et al.*, (2016) a cada uno de los mapas de cobertura y uso de la tierra de la RFI de 2000 y 2018, se obtuvieron los valores promedio de toneladas por ha de C de la biomasa aérea para las categorías tierras forestales y humedales (turberas) antes mencionada, a través de un análisis estadístico zonal de media, este valor promedio se utilizó para el cálculo total de las reservas de C en cada una de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



ellas. A excepción de la categoría de bosque degradado, al valor promedio de C de la biomasa aérea obtenido mediante la estratificación, se le aplicó un factor de 0,5 correspondiente a la disminución del C en este reservorio por esta actividad (Vilanova, Ramírez-Angulo, y Torres-Lezama, 2010), esto es debido a que el bosque degradado, es una categoría perturbada por el aprovechamiento forestal selectivo.

En relación con el C de la biomasa aérea de las categorías cultivo, herbazal, pecuario y corta fuego, se obtuvieron de los valores presentados en las Tablas de la OBP del IPCC (IPCC, 2006), las cuales a su vez son el producto de investigaciones científicas, y según dictámenes de experto y del IPCC poseen un nivel de incertidumbre de $\pm 75\%$ (IPCC, 2006). Por su lado, las categorías ríos, asentamientos humanos, vialidad, minería y otras coberturas, no fueron consideradas para el cálculo de C de la biomasa en los diferentes depósitos terrestres evaluados.

Estimación de C de la biomasa subterránea: con respecto al carbono almacenado en el depósito de la biomasa subterránea del árbol (raíces), que rara vez se mide, se aplicó la relación raíz-vástago, establecida por el IPCC (IPCC, 2006). Para los Bosques Lluviosos o Húmedos Tropicales el factor aplicado fue de 0,24, para biomasa aérea mayor 125 t/ha y 0,20 para biomasa aérea menor a 125 t/ha. Mientras que para los Pastizales el factor aplicado fue un factor de expansión de 1,6, debido a que las adaptaciones a los incendios y al pastoreo han arrojado relaciones raíz-vástago más elevadas que en muchos otros ecosistemas (IPCC, 2006).

Estimación de C de la materia orgánica muerta: el depósito de materia orgánica muerta involucra dos, depósitos madera muerta y detritus (hojarasca).

El carbono de la *madera muerta* varía considerablemente de una masa forestal a otra a lo largo del paisaje, tanto en las gestionadas como, incluso, en las no gestionadas. Las cantidades de madera muerta dependen de la fecha de la última alteración, de la cantidad de material aportado (mortalidad) en la fecha de la alteración, de las tasas de mortalidad natural, de la tasa de descomposición, y de la gestión.

El planteamiento propuesto por el IPCC reconoce la importancia regional del tipo de bosque, del régimen de alteración y del régimen de gestión con respecto a las Reservas de carbono en la madera muerta, y permite incorporar conocimientos y datos científicos disponibles. En este sentido, el promedio (mediana) planteado por el IPCC y asumido para esta consultoría de las Reservas en madera muerta para el bosque tropical es de 18,2 t/ha, este valor se aplicó a todas las tierras forestales. Sin embargo, la incertidumbre de este valor según el IPCC está entre $\pm 30\%$.

Con respecto a la acumulación de detritus está en función de la cantidad anual de detritus depositados en forma de hojas, briznas y ramillas, frutos, flores y corteza, menos la tasa anual de descomposición. La masa de detritus depende también de la fecha de la última alteración y del tipo de alteración. Durante las primeras etapas del desarrollo de las masas forestales, los detritus aumentan rápidamente. Prácticas de gestión tales como la recolección de madera, la quema de maleza o la preparación del lugar alteran enormemente las propiedades de los detritus, pero existen pocos estudios que documenten claramente los efectos de la gestión sobre el carbono presente en los detritus.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



En IPCC establece como valor por defecto de las Reservas de C en detritus para bosque tropical frondoso caducifolio de 2,1 t/ha, este valor fue asumido para todos los tipos de bosques caracterizados dentro de la RFI.

2.2.5. Estimación de las emisiones/absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018

Las emisiones/absorciones en las Reservas de C se estimaron según los cambios en las categorías de uso de la tierra, para cada una de estas la suma de los cambios en las Reservas de carbono en todos los depósitos de C equivale al cambio en la Reserva total de carbono para dicho estrato.

Para esta estimación se utilizó la OBP del IPCC (2006), la cual asume un cambio lineal de secuestro de carbono en el tiempo, basado en la ecuación básica donde se multiplican los DA, que se refieren a la extensión de las superficies obtenidas de la matriz de tabulación cruzada de la metodología de Pontius et al. (2004) (expresadas en hectáreas), con los Factores de Emisión (FE), que se refieren a las emisiones por unidades de cambio de la superficie entre categorías, obtenida del CO₂ de cada reservorio, los cuales provienen a su vez de la conversión de los valores de C (determinados para el cálculo de C almacenado) a través del factor 44/12.

3. Hallazgos y Resultados

3.1. Evaluación de la incertidumbre de los mapas de 2000 y 2018 de la RFI

Los resultados de la matriz de confusión ofrecen la oportunidad de analizar los aciertos y las confusiones entre las diferentes categorías. En este sentido, en la Tabla 5 se visualiza la matriz de confusión del mapa de la RFI del año 2000 con las 17 categorías, en esta se destaca que los aciertos de las categorías se ubicaron entre 82% y 96%, y que las confusiones entre categorías fueron diversas, por ejemplo, la categoría con mayor porcentaje de acierto fue la plantaciones forestales (Pf) con 96%, la cual se confundió con las categorías de bosque siempre verde (Bsv) y de herbazales (H) en un 2% cada una; mientras que la categoría de menor porcentaje de acierto fue la ríos (R) con 82%, la cual se confundió con el bosque húmedo tropical (Bht) en un 8%, con el bosque seco siempreverde (Bsv) en un 6%, con el bosque de inundación mareal (Bim) y la turbera (T) en un 2% respectivamente.

Tabla 5. Matriz de confusión del mapa del año 2000 de la RFI.

Clases	Verdad Terreno (Porcentaje)																	Total
	Bde	Bht	Bsv	Bp	Bd	Pf	C	Bim	H	P	Cf	T	R	Ah	V	M	Oc	
Bde	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.53
Bht	0	94	4	4	4	0	0	0	0	0	6	0	8	0	4	10	2	8
Bsv	4	0	94	0	0	2	4	0	2	8	2	0	6	2	0	0	0	7.29
Bp	0	0	0	94	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6.12
Bd	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.18
Pf	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.65
C	0	0	0	0	0	0	94	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5.76
Bim	0	0	0	0	0	0	0	94	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5.65
H	2	2	0	0	0	2	2	0	84	2	8	6	0	8	2	2	10	7.65
P	0	0	0	0	2	0	0	0	4	86	0	0	0	0	0	0	0	5.41
Cf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	4	0	0	5.18
T	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	94	2	0	0	0	0	5.76
R	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	82	0	0	0	0	5.06
Ah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	5.29
V	0	4	0	0	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	90	0	0	6
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	5.18
Oc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	5.18
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Por su lado, la matriz de confusión del mapa de la RFI del año 2018 se visualiza en la Tabla 6, en esta se destaca que los aciertos de las categorías se ubicaron entre 86% y 98%, y que las confusiones entre categorías fueron diversas, por ejemplo, la categoría con mayor porcentaje de acierto fue el bosque húmedo tropical (Bht) con 98%, la cual se confundió con el herbazales (H) en un 2%; mientras que las categorías de menor porcentaje de acierto fueron el bosque de inundación mareal (Bim) y los ríos (R) con 86% cada uno, la primera categoría, se confundió con el bosque de pantano (Bp) en un 12% y con el río (R) en un 2%, y, la segunda categoría, con el bosque húmedo tropical (Bht) y con el bosque siempre verde (Bsv) en un 6% respectivamente, y con el bosque de inundación mareal (Bim) en un 2%.

Tabla 6. Matriz de confusión del mapa del año 2018 de la RFI.

Verdad Terreno (Porcentaje)																		
Clases	Bde	Bht	Bsv	Bp	Bd	Pf	C	Bim	H	P	Cf	T	R	Ah	V	M	Oc	Total
Bde	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.53
Bht	0	98	2	4	2	0	0	0	0	0	6	0	6	0	4	12	0	7.88
Bsv	6	0	96	0	0	2	6	0	0	6	0	0	6	2	0	0	0	7.29
Bp	0	0	0	94	0	0	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6.35
Bd	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5.65
Pf	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.65
C	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.41
Bim	0	0	0	0	0	0	0	86	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5.18
H	0	2	0	0	0	2	2	0	92	2	2	2	0	6	4	0	6	7.06
P	0	0	0	0	2	0	0	0	4	90	0	0	0	0	0	0	0	5.65
Cf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	5.41
T	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	98	0	0	0	0	0	5.88
R	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	86	0	0	0	0	5.29
Ah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	5.41
V	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	88	0	0	5.53
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	5.18
Oc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	5.53
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

En relación con los errores de comisión (usuario) y omisión (productor) para el mapa de 2000, se puede comentar que la categoría con mayor error de comisión fue el herbazal (H) con 35,4%, seguida del bosque húmedo tropical (Bht) con 30,9%, bosque siempreverde (Bsv) con 24,2% y vialidad (V) con 11,8%. Mientras que los errores de omisión las categorías con mayores errores fue los ríos (R) con 18,0%, herbazal (H) y corta fuego (Cf) con 16,0% y plantaciones (P) con 14,0% (Figura 4).

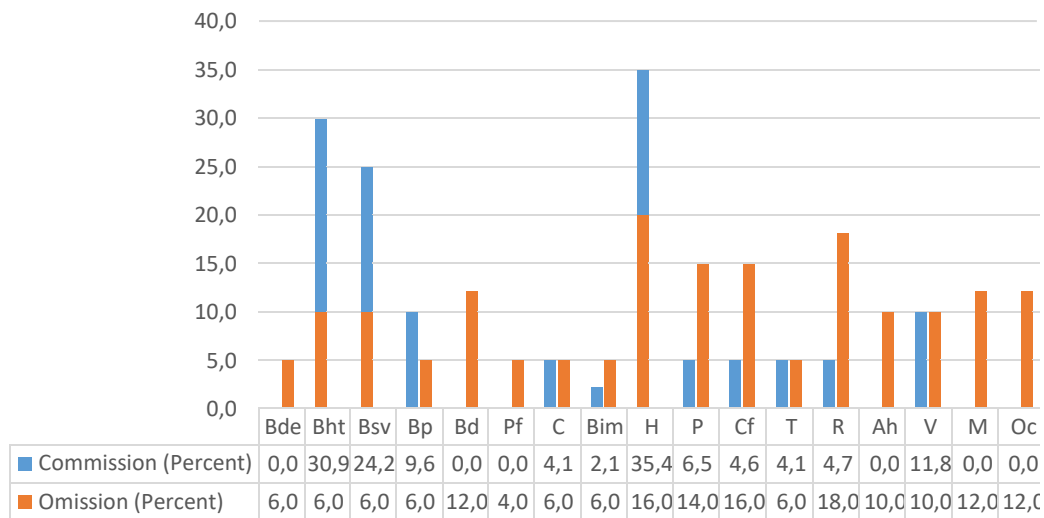


Figura 4. Errores de comisión y omisión del mapa de la RFI para el 2000.

Con respecto a los errores del mapa de 2018, se puede comentar que la categoría con mayor error de comisión fue el bosque húmedo tropical (Bht) con 26,9%, seguido del herbazal (H) con 23,3%, bosque siempreverde (Bsv) con 22,6% y el bosque de pantano (Bp) con 13,0%. Los mayores errores de omisión fueron para las categorías los ríos (R) y bosque de inundación mareal (Bim) con 14,0% cada uno, seguidos de la vialidad (V) y minería (M) con 12,0% respectivamente (Figura 5).

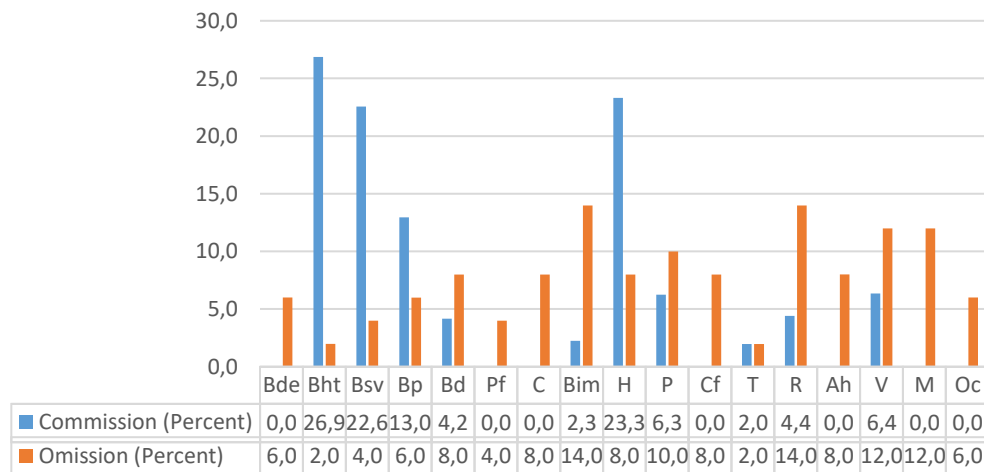


Figura 5. Errores de comisión y omisión del mapa de la RFI para el 2018.

Por otro lado, la precisión global del mapa de 2000 fue de 90,24% y del mapa de 2018 fue de 92,24%, lo que indica que están dentro de los límites establecidos por los científicos (80 a 95%) para diferenciar estas categorías, y posteriormente, evaluar sus cambios (GOF-C-GOLD, 2016). Con respecto a los resultados del índice k fue de 0,89 y 0,92 respectivamente para el mapa de 2000 y del 2018, estos indican una concordancia casi perfecta, según Landis and Koch (1977), ya que sus valores se encuentran dentro del rango de 0,81 – 1,00.

32 Mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 2000 y 2018 de la RFI

El resultado del mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000 de la RFI se visualiza en la Figura 6, en esta se observa que la mayor proporción de la RFI es ocupada por las tierras forestales, específicamente las categorías bosque húmedo tropical (Bht) que se ubica en el centro y sur de la RFI, bosque de pantano (Bp) al noreste, bosque siempre verde (Bsv) al noroeste y sur, y el bosque degradado (Bd) en el centro y noroeste de la RFI. Asimismo, se destaca la minería (M) hacia el sur y los cultivos (C) al noroeste de la RFI.

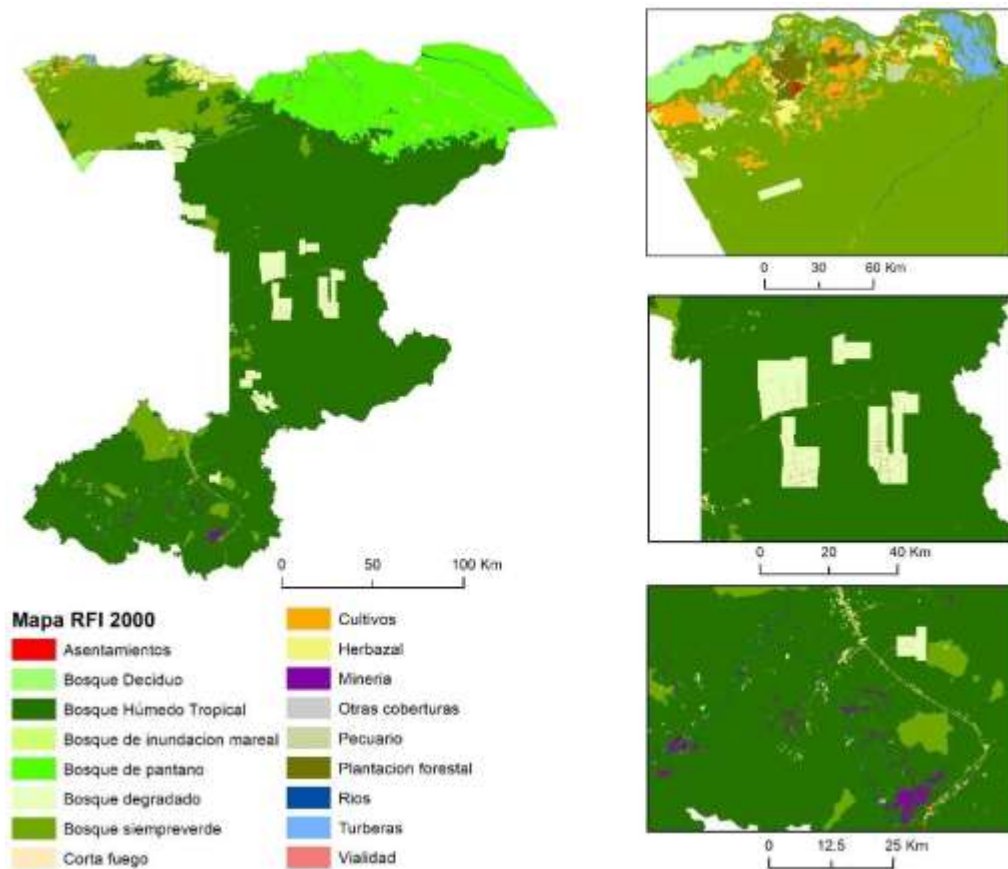


Figura 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000 de la RFI.

Por su lado, el mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2018 de la RFI se observa en la Figura 7, este sigue la misma tendencia que el mapa anterior, en el cual la mayor proporción de la RFI es ocupada por las tierras forestales. No obstante, al detallar este se destacan ciertos cambios, como el aumento de los bosques degradados (Bd) en del centro y de la minería (M) al sur de la RFI, este incremento expensa del bosque húmedo tropical (Bht). Asimismo, los cultivos en menor proporción al noroeste de la RFI

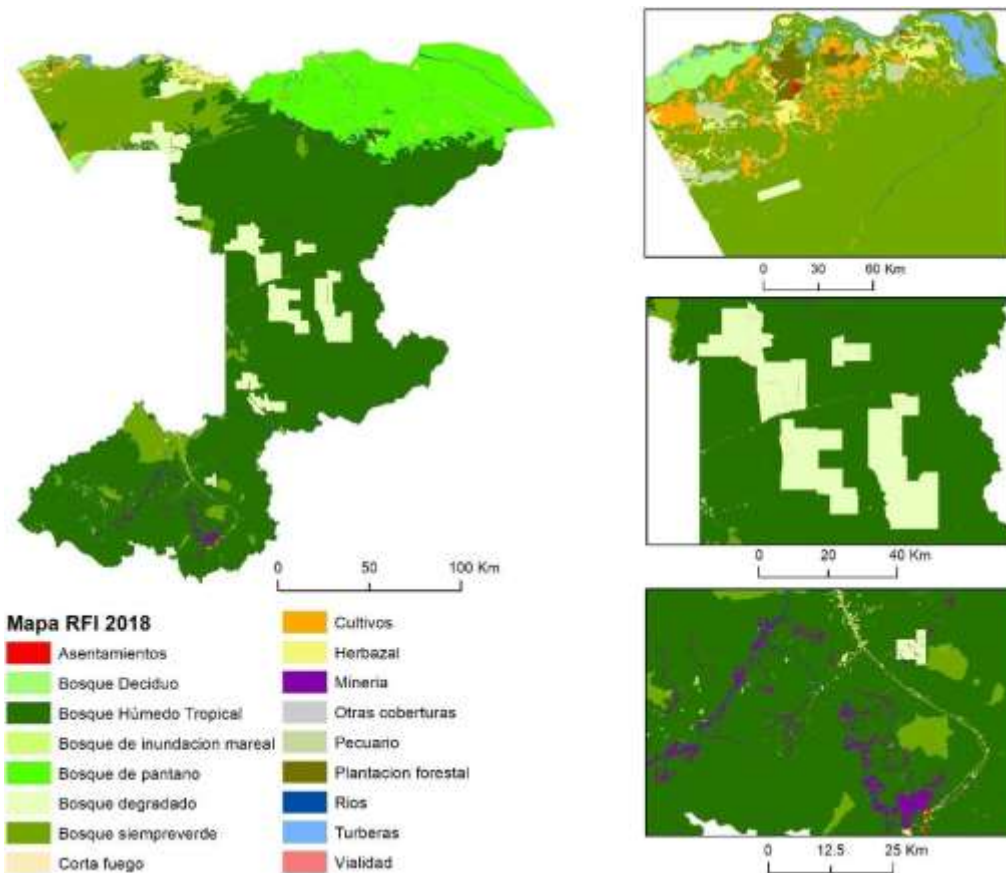


Figura 7. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2018 de la RFI.

Para precisar las categorías de cobertura y uso de la tierra en los años 2000 y 2018, se presenta en la Tabla 7 las superficies y los porcentajes que estas representan dentro de la RFI, en esta se corrobora lo comentado anteriormente de los mapas, como el caso de las tierras forestales que son las que tienen mayor ocupación dentro de la RFI, ya que para el 2000 estas tierras ocupaban el 97,23% y para el 2018 el 96,69%, dentro de estas tierras se destaca la categoría bosque húmedo tropical (Bht) con el 64,906% y el 62,448%, luego el bosque de pantano (Bp) con el 16,126% y 16,207% y el bosque siempre verde (Bsv) con 12,257% y 11,893% para el año 2000 y 2018 respectivamente.

Por su lado, las categorías con menores superficies para el 2000 y 2018, se destacan otras coberturas (Oc) con 0,005% para ambos años, las cuales representan una serie de Tepuyes localizados al sur de la RFI, asimismo, los asentamientos humanos (Ah) con 0,010% y 0,012% y los corta fuego con 0,018% y 0,019% para el 2000 y 2018 respectivamente.

En relación con las actividades antrópicas que están relacionadas directamente con las diferentes categorías y que reportaron aumento, se puede mencionar la minería (M) con 0,273% y 0,581%,

los cultivos (C) con 0,239% y 0,35%, y, el uso pecuario (P) con 0,109% y 0,264%, respectivamente para el 2000 y 2018 para toda la RFI.

Tabla 7. Superficies y porcentajes de ocupación en las diferentes categorías para los años 2000 y 2018 en la RFI.

	Categorías IPCC 2003	Subcategorías RFI	Código	Superficie			
				2000		2018	
				ha	%	ha	%
1		Bosque de inundación mareal	Bim	11 720,64	0,307	8 476,55	0,222
2		Bosque de pantano	Bp	616 153,88	16,126	619 230,14	16,207
3		Bosque decíduo estacional	Bde	10 415,07	0,273	9 817,74	0,257
4	Tierras forestales	Bosque degradado	Bd	126 237,80	3,304	214 267,22	5,608
5		Bosque húmedo tropical	Bht	2 479 921,01	64,906	2 385 997,24	62,448
6		Bosque siempreverde	Bsv	468 325,66	12,257	454 391,02	11,893
7		Plantaciones forestales	Pf	2 070,60	0,054	2 064,48	0,054
8	Tierras agrícolas	Cultivos	C	9 118,79	0,239	12 046,40	0,315
9		Corta fuego	Cf	685,51	0,018	715,33	0,019
10	Pastizales (Praderas)	Herbazal	H	45 207,92	1,183	45 037,03	1,179
11		Pecuario	P	4 170,74	0,109	10 103,74	0,264
12	Humedales	Ríos	R	22 715,81	0,595	22 874,38	0,599
13		Turberas	T	8 050,99	0,211	9 497,56	0,249
14		Asentamientos humanos	Ah	372,70	0,010	477,4	0,012
15	Asentamientos	Minería	M	10 445,11	0,273	22 184,94	0,581
16		Vialidad	V	4 998,01	0,131	3 429,06	0,090
17	Otras tierras	Otras Coberturas	Oc	181,79	0,005	181,79	0,005
				3 820 792,03	100,00	3 820 792,03	100,00

33. Cambios de cobertura y uso de la tierra entre los años 2000 y 2018.

El resultado de la tabulación cruzada permitió construir una matriz que expresa las relaciones superficies de cambio existentes entre las diferentes coberturas y usos de la tierra entre el 2000 y 2018 (Tabla 8), con estas superficies y la aplicación de la metodología de Pontius *et al.* (2004), se reveló que para el periodo 2000-2018 las categorías que presentaron las mayores pérdidas fueron el bosque húmedo tropical con 97 3347 ha, seguido del bosque siempre verde (Bsv) con 14 718 ha, el bosque de inundación mareal con 3 872 ha y el herbazal con 3 136 ha. Mientras, que las categorías que presentaron mayores ganancias fueron el bosque degradado (Bd) con 89 230 ha, la minería (M) con 12 944 ha, el pecuario (P) con 6 176 ha y el cultivo (C) con 4 180 ha.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla 8. Matriz de cambio para los años 2000 y 2018 en la RFI.

		Año 2018																Total	Pérdida		
		Bim	Bp	Bde	Bd	Bht	Bsv	Pf	C	Cf	H	P	R	T	Ah	M	V			Oc	
Año 2000	Bim	7 849	3 872	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11 721	3 872
	Bp	617	615 046	0	0	0	0	0	177	0	314	0	0	0	0	0	0	0	0	616 154	1 108
	Bde	0	0	9 790	0	0	0	0	132	0	24	432	0	37	0	0	0	0	0	10 415	625
	Bd	0	0	0	125 007	0	0	0	59	0	627	198	0	0	0	311	36	0	0	126 238	1 231
	Bht	0	0	0	80 198	2 382 574	0	0	507	29	1 134	2 818	204	54	75	12 199	130	0	0	2 479 921	97 347
	Bsv	0	0	2	7 329	3	453 607	7	3 198	0	842	1 928	4	1 254	10	143	0	0	0	468 326	14 718
	Pf	0	0	0	0	0	13	2 057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 071	13
	C	0	14	9	5	109	464	0	7 871	0	0	647	0	0	0	0	0	0	0	9 119	1 247
	Cf	0	0	0	0	0	0	0	0	686	0	0	0	0	0	0	0	0	0	686	0
	H	0	308	11	21	1 894	204	0	96	0	42 072	152	3	170	36	233	7	0	0	45 208	3 136
	P	0	0	3	5	139	86	0	8	0	0	3 929	0	0	0	0	0	0	0	4 171	242
	R	0	0	0	0	29	4	0	0	0	0	0	22 659	0	0	24	0	0	0	22 716	56
	T	0	0	0	0	18	13	0	2	0	4	0	0	7 983	0	31	0	0	0	8 051	68
	Ah	0	0	0	0	8	0	0	0	0	7	0	0	0	358	0	0	0	0	373	15
M	0	0	0	0	1 199	0	0	0	0	7	0	3	0	0	9 237	0	0	0	10 445	1 208	
V	0	0	0	1 671	43	0	0	0	0	17	0	0	2	0	5	3 261	0	0	4 998	1 737	
Oc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	182	0	
Total		8 466	619 239	9 815	214 237	2 386 016	454 391	2 064	12 051	714	45 047	10 105	22 873	9,5	478	22 181	3 433	182			
Ganancia		617	4 193	25	89,23	3 442	783	7	4,18	29	2 975	6 176	214	1 517	121	12 944	173	0			



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



En relación con la deforestación entre el 2000 y 2018, se puede comentar que las tierras forestales de la RFI pasaron de 3 714 844,66 ha (97,23%) a 3 694 244,40 ha (96,69%), es decir, se perdieron 20 600,26 ha en 18 años, lo que representa anualmente 1 144,46 ha, con una TMAD de -0,031.

Por su lado, la degradación de bosque, calculada en este estudio se estimó únicamente por el aprovechamiento forestal selectivo y el cual se determinó mediante los compartimientos aprovechados de las unidades de manejo forestal. Éstas arrojaron para el año 2000 una superficie 126 237,80 ha (3,304%) y para el 2018 de 214 267,22 ha (5,608%), es decir, se incrementó 88 029,42 ha lo cual representa un 2,30%.

34 Carbono almacenado en la biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta (madera muerta y detritus) y biomasa en el suelo en la RFI

Los valores promedios utilizados para la estimación del carbono almacenado en los diferentes depósitos terrestres se observan en la Tabla 9 para 12 categorías, las restantes categorías, ríos, asentamientos humanos, vialidad, minería y otras coberturas, que representan el 1,014% de la RFI, no se consideraron para la estimación del almacenamiento de C, ya que las mismas no poseen dichos depósitos, a excepción de los asentamientos urbanos que pudiesen estimarse valores de almacenamiento de C debido a la existencia de árboles en las áreas urbanas, sin embargo, en este estudio no fue considerado.

Cabe destacar, que el valor promedio de la biomasa aérea del bosque húmedo tropical 319,41 Mg C /ha, es ligeramente superior que el reportado por Vilanova *et al.* (2010) 313,02 Mg C /ha. Mientras que valor promedio del bosque deciduo estacional 168,85 Mg C /ha, es inferior al reportado por Pacheco *et al.* (2017), para el mismo tipo de bosque ubicado en la región de los llanos occidentales del país 239,60 Mg C /ha. De igual manera, el valor promedio de las plantaciones 90,58 Mg C /ha, es inferior al establecido en las Tablas de las OBP del IPCC (2006) 100,00 Mg C /ha.

Con respecto a las categorías cultivos, herbazal pecuario y corta fuego los valores promedios empleados para el C en la biomasa viva fueron extraídos de las Tablas de las OBP del IPCC (2006). Asimismo, es importante destacar que, para el reservorio del C en la biomasa muerta, los valores empleados fueron los establecidos en las Tablas de las OBP del IPCC (2006), estos fueron asumidos para las distintas categorías de bosque.

Tabla 9. Valores promedio de biomasa y C en las diferentes categorías, utilizados para los cálculos de los años 2000 y 2018 en la RFI.

Subcategorías	Reserva de C en biomasa viva				Reserva de C en biomasa muerta					
	Aérea (Mg/ha)		Subterránea (Mg/ha)		Madera muerta (Mg/ha)		Detritus (Mg/ha)		Materia orgánica muerta (Mg/ha)	
	AGB	C	Biomasa	C	Biomasa	C	Biomasa	C	Biomasa	C
Bosque de inundación mareal	Bim	100.00	50.00	20.00	10.00	11.00	5.50	6.20	3.10	17.20
Bosque de pantano	Bp	230.21	115.11	55.25	27.63	25.32	12.66	4.20	2.10	29.52
Bosque decíduo estacional	Bde	168.85	84.43	40.52	20.26	18.57	9.29	4.20	2.10	22.77
Bosque degradado	Bd	159.70	79.85	38.33	19.16	17.57	8.78	4.20	2.10	21.77
Bosque húmedo tropical	Bht	319.41	159.70	76.66	38.33	35.13	17.57	4.20	2.10	39.33
Bosque siempreverde	Bsv	278.16	139.08	66.76	33.38	30.60	15.30	4.20	2.10	34.80
Plantaciones forestales	Pf	90.58	45.29	18.12	9.06	9.96	4.98	4.20	2.10	14.16
Cultivos	C	5.20	2.60	-	-	-	-	-	-	-
Corta fuego	Cf	6.20	2.29	9.92	3.67	-	-	-	-	-
Herbazal	H	6.20	2.29	9.92	3.67	-	-	-	-	-
Pecuario	P	6.20	2.29	9.92	3.67	-	-	-	-	-
Turberas	T	78.34	39.17	18.80	7.83	-	-	-	-	-

Considerando las incertidumbres de los datos utilizados para la estimación de C almacenado en los reservorios de biomasa viva y biomasa muerta, las cuales se representan, primero, en el mapa de cobertura y uso de la tierra de 2000 y 2018 cuya precisión global fue de 90,24% y 92,24% respectivamente, y a nivel de las categorías entre 82% y 96%, y, 86% y 98%, para determinar las superficies en ha de cada una de las categorías; segundo, en el producto global con 25% para la estimación en t/ha de la biomasa aérea de los diferentes tipos de bosque y las turberas, y, tercero, en los valores por defecto de las Tablas de las OBP del IPCC, para estimar, por un lado, la biomasa aérea en Mg/ha para las categorías cultivo, herbazal, pecuario y corta fuego es de $\pm 75\%$, y, por otro lado, para estimar el C almacenado en Mg/ha de la materia orgánica es entre $\pm 30\%$. En este sentido, se puede comentar que los resultados estimados en este trabajo poseen una incertidumbre menor en los datos de las superficies de las categorías (9,76%), que en los datos de biomasa y C utilizados ($\pm 30\%$).

Dicho esto, se puede revelar que el total del C almacenado en los depósitos de biomasa viva y biomasa muerta para la RFI en el año 2000 fue de 742 543 621 t C/ha y para el año 2018 de 729 427 710 t C/ha, de los cuales el 73,29% fue de biomasa aérea (AGB), el 17,60% de biomasa subterránea y el 9,11% de MOM para ambos años. El 72,71% y el 71,21% del C almacenado en los reservorios de biomasa viva y biomasa muerta para el 2000 y 2018, se localiza en el bosque húmedo tropical, mientras que el 13,07% y 13,37% en el bosque de pantano y el 11,97% y 11,83% en el bosque siempre verde (Tabla 10).

Tabla 10. *Carbono almacenado en la biomasa viva (aérea y subterránea) y biomasa muerta (madera muerta y detritus) en las diferentes categorías para los años 2000 y 2018 en la RFI.*

Subcategorías		Carbono Almacenado (T)							
RFI	Código	AGB	Subterránea	MOM	Total	AGB	Subterránea	MOM	Total
Bosque de inundación mareal	Bim	586 032	117 206	100 797	804 036	423 828	84 766	72 898	581 492
Bosque de pantano	Bp	70 922 392	17 021 374	9 095 386	97 039 152	71 276 485	17 106 357	9 140 797	97 523 639
Bosque decíduo estacional	Bde	879 292	211 03	118 594	1 208 916	828 863	198 927	111 792	1 139 582
Bosque degradado	Bd	10 080 246	2 419 259	1 373 927	13 873 432	17 109 506	4 106 281	2 332 007	23 547 794
Bosque húmedo tropical	Bht	396 049 585	95 051 901	48 773 289	539 874 775	381 049 724	91 451 934	46 926 064	519 427 722
Bosque siempreverde	Bsv	65 134 732	15 632 336	8 148 304	88 915 373	63 196 703	15 167 209	7 905 858	86 269 770
Plantaciones forestales	Pf	93 778	18 756	14 664	127 197	93 5	18 7	14 62	126 821
Cultivos	C	23 709	0	0	23 709	31 321	0	0	31 321
Corta fuego	Cf	1 573	2 516	0	4 089	1 641	2 626	0	4 267
Herbazal	H	103 707	165 931	0	269 638	103 315	165 304	0	268 619
Pecuario	P	9 568	15 308	0	24 876	23 178	37 085	0	60 263
Rios	R	0	0	0	0	0	0	0	0
Turberas	T	315 357	63 071	0	378 429	372 019	74 404	0	446 423
Asentamientos humanos	Ah	0	0	0	0	0	0	0	0
Minería	M	0	0	0	0	0	0	0	0
Vialidad	V	0	0	0	0	0	0	0	0
Otras Coberturas	Oc	0	0	0	0	0	0	0	0
		544 199 971	130 718 688	67 624 961	742 543 621	534 510 082	128 413 591	66 504 037	729 427 710

35. Emisiones/Absorciones de Reservas de C para el periodo 2000-2018 en la RFI

Las emisiones generadas en la RFI entre el 2000 y 2018, son representadas por una disminución del C almacenado en los diferentes reservorios, las cuales fueron causas por tres procesos claramente identificados, el primero, por el proceso de degradación del bosque, generado por el aprovechamiento forestal selectivo (Degradación AFS) y el por el cambio de tipos de bosque (Degradación CTB) de mayor a menor almacenamiento de C; el segundo, por el proceso de deforestación, generado por el cambio de cobertura de tierras forestales a otras coberturas; y, el tercero, por el cambio entre otras categorías que no son bosques, pero que representan disminución en el C almacenado.

Dicho esto, se puede apreciar en la Tabla 11, las emisiones de CO₂ generadas en los reservorios de AGB, subterránea y MOM, por los procesos comentados anteriormente, en dicha Tabla se aprecia que a degradación AFS fue la responsable entre un 79,307% y 75,594% de las emisiones de CO₂ generada en los diferentes reservorios, seguida del proceso de deforestación entre 24,022% y 20,166%, y la degradación CTB entre 0,527% y 0,383%, mientras que los otros cambios fueron responsables solamente en la AGB con 0,005%.

Tabla 11. Emisiones de CO₂ entre 2000 y 2018 en la AGB, subterránea y MOM, originados por diferentes procesos dentro de la RFI.

	Emisiones	
	AGB	
	Mt CO ₂ / año	Porcentaje (%)
Degradación AFS	13,929	78,543
Degradación CTB	0,008	0,463
Deforestación	0,372	20,994
Otros cambios	0,000	0,005
	Subterránea	
Degradación AFS	0,334	79,307
Degradación CTB	0,002	0,527
Deforestación	0,085	20,166
Otros cambios	0,000	0,000
	MOM	
Degradación AFS	0,153	75,594
Degradación CTB	0,001	0,383
Deforestación	0,049	24,022
Otros cambios	0,000	0,000

A nivel de toda la RFI se puede comentar que las mayores emisiones se originaron en la AGB con 1,77 Mt CO₂ / año, luego en el reservorio de biomasa subterránea con 0,42 Mt CO₂ / año y por último en la MOM con 0,20 Mt CO₂ / año, para un total de 2,398 Mt CO₂ / año. Mientras, que las absorciones representadas principalmente por la recuperación natural de las coberturas vegetales se originaron en mayor proporción, en la AGB con 0,152 Mt CO₂ / año, luego en el reservorio de biomasa subterránea con 0,036 Mt CO₂ / año y por último en la MOM con 0,017 Mt CO₂ / año, para un total de 0,205 Mt CO₂ / año (Figura 8).

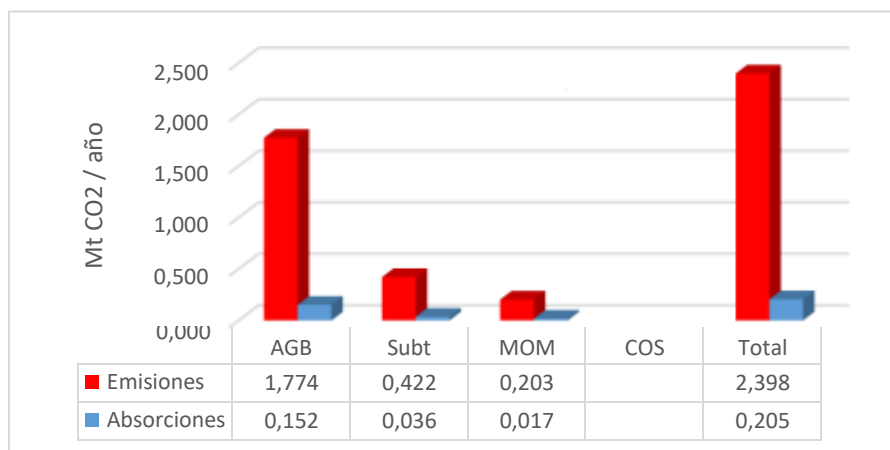


Figura 8. Emisiones y absorciones de CO₂ entre el 2000 y 2018 en la RFI.

4. Conclusiones

En este trabajo se presenta por primera vez en la RFI una evaluación del cálculo de C almacenado y de las emisiones y absorciones de CO₂, utilizando las OBP del IPCC. Esta



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



evaluación reveló una serie de resultados inéditos que no habían sido obtenidos científicamente hasta el momento, los cuales permitieron derivar las siguientes conclusiones:

- A pesar de que la RFI posee en los actuales momentos el 96,69% de la cobertura de bosque, los mismos se encuentran degradados tanto por el aprovechamiento forestal selectivo (que fue evaluado en este estudio), como por los incendios forestales, la recolecta de leña y el pastoreo dentro del bosque (que no fueron evaluados en este estudio).
- Hasta el momento, el aprovechamiento forestal selectivo ocupa un 5,608% y la minería un 0.581%, del total de RFI, actividades establecidas en el plan de reglamento y uso de la RFI.
- En función de los cambios en las superficies de las diferentes categorías, se puede revelar en este estudio, que las causas directas de la deforestación en la RFI entre el 2000 y 2018, fueron con 55,55% la actividad minera, seguida con 26,51% de la actividad pecuaria y con 17,94% el establecimiento de cultivos.
- A pesar de que el nivel 3 fue empleado para determinar los DA, y que el nivel 1 para los FE, los resultados aquí mostrados son una aproximación de los cálculos reales, ya que se emplearon datos puntuales con incertidumbres que alcanzaron el 30% de los cálculos reales.
- Aproximadamente, el 80% de CO₂ emitido en la RFI fue generado por la degradación forestal, específicamente el aprovechamiento forestal selectivo. No obstante, dicho valor hay que ajustarlo, ya que el cálculo utilizado en este estudio se basó exclusivamente en la superficie de los compartimientos aprovechados dentro de cada unidad de manejo, y no se ajustó en función del volumen de madera extraído, razón por la cual, el resultado acá presentado se encuentra sobreestimado.

5. Bibliografía

- Asamblea Nacional. 2008. *Ley de bosques y gestión forestal*. Gaceta Oficial N.º 38.946 Decreto N.º 6.070. Caracas, Venezuela (República Bolivariana de).
- Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G. B. M., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Asner, G. P., . . . Willcock, S. 2016. *An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets*. *Global Change Biology*, 22(4), 1406-1420. doi: 10.1111/gcb.13139.
- Berroterán. 2003. *Reserva Forestal Imataca, ecología y bases técnicas para el ordenamiento territorial*. Caracas, Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. pp. 208.
- Chuvieco, E. 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. España: Editorial Ariel, S. A.
- Cohen, J. 1960. *A coefficient of agreement for nominal scales*. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Congalton, R. 1988. *Comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(3), 593-600.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Congalton, R., y Green, K. 2009. *Assesing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices*. London, New York, CRC Press: Taylor and Francis Group.
- Escrivá, M., Vicent, J., y Camahort, E. 2006. *Dispositivo de visualización especial*. Universidad Politécnica de Valencia.
- FAO. 2010. *Global Forest Resources Assessment 2010*. Main Report. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the UN. pp. 378.
- FAO. 2015. *Global Forest Resources Assessment 2015*. Main Report. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the UN).
- GOFC-GOLD. 2016. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. GOFC-GOLD Report version COP22-1. The Netherlands: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University.
- Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., Ramankutty, N. 2012. *Carbon emissions from land use and land-cover change*. *Biogeosciences*, 9(12), 5125-5142. doi: 10.5194/bg-9-5125-2012.
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Intergovernmental Panel on Climate Change Publisher: Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. pp. 632.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. (Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>, Often referred to as IPCC AFOLU GL). Acceso: 12 de agosto de 2019.
- Landis, J. R., y Koch, G. G. 1977. *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Pacheco-Angulo, C., Vilanova, E., Aguado, I., Monjardin, S. y Martinez, S. 2017. *Carbon Emissions from Deforestation and Degradation in a Forest Reserve in Venezuela between 1990 and 2015*. *Forests*, 8(8), 291.
- Pontius, R., Shusas, E. y McEachern, M. 2004. *Detecting important categorical land changes while accounting for persistenc*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, 251–226.
- Rosenfield, G. H., y Fitzpatrick-Lins, A. 1986. *A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 223-227.
- Sader, S. A., y Joyce, A. T. 1988. *Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983*. *Biotropica*, 20(1), 11-19. doi: 10.2307/2388421
- UNFCCC. 2011. *Decisions adopted by COP16 ("The Cancun Agreements") on Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of*



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. UN-FCCC/CP/2010/7/Add.1 Decision 16/CMP.1., 231.

Vilanova, E., Ramírez, H., y Torres, A. 2010. *El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como un indicador del impacto de la extracción selectiva de maderas en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela.* Interciencia, 35(9), 659-665.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Anexo 10.2

Valoración ambiental del carbono del suelo de la Reserva Forestal de Imataca

1. Introducción

El carbono es un elemento que circula entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, conformando depósitos o almacenes de interés mundial. En otras palabras, el carbono es el elemento químico clave en los compuestos de naturaleza orgánica. Los suelos constituyen uno de los más grandes reservorios de carbono reactivo y contribuyen a moderar el ciclo global de este elemento y la química atmosférica, además de proveer múltiples servicios ecosistémicos fundamentales para la vida en la Tierra. A pesar de ello, los suelos se han convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo al enfrentar la demanda creciente de alimentos y fibras, la degradación de la tierra, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático.

El ciclo del carbono está referido al paso entre los depósitos, mediante procesos de orden químico, físico y biológico. El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como de la emisión de gases de origen antropogénico (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009).

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico (CO_2), mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno, que va a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el dióxido de carbono (CO_2) que así se forma, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte la consumen los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos, al final, son descompuestos por los microorganismos del suelo y por ello el carbono de sus tejidos se oxida, forma dióxido de carbono y retorna a la atmósfera (Orellana, Sandoval, Linares, García y Tamariz, 2012).

En este sentido, en el suelo ocurre respiración, que consiste en la producción de CO_2 resultante de dos procesos: la ruptura u oxidación de la Materia Orgánica en el Suelo (MOS) realizada por los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de producción de CO_2 es importante porque es indicativa de la tasa de descomposición de la MOS y, en consecuencia, de la cantidad de carbono que se pierde del sistema suelo. Las medidas de la respiración del suelo, en consecuencia, ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO_2 en la atmósfera (Lessard, Gignac y Rochette, 2006).

Se considera que el ciclo global del carbono se basa en dos ciclos: i) uno bioquímico a corto plazo y ii) otro geoquímico a largo plazo. Las mediciones muestran que, anualmente, las actividades antropogénicas afectan los dos ciclos con la emisión de 8,6 Pg de carbono (siendo que el petagramo es igual a 1×10^{15} gramos o 1 billón de kilogramos). Se estima que, del carbono emitido, 3,3 Pg lo absorbe la atmósfera y 2,2 Pg lo absorben los océanos. De estas cifras se deduce que en los últimos 150 años hubo un incremento en las emisiones de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



CO₂ a la atmósfera de un 31%. Vale señalar el rol que cumple el suelo en este contexto, a partir de dos reservas, una, la de carbono orgánico del suelo (COS) y, otra, la de carbono inorgánico del suelo (CIS) (Verhulst, François y Govaerts, 2015).

En el caso del carbono orgánico del suelo (COS), este es un componente importante del ciclo global del carbono (C), ocupando un 69,8% del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El COS es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. El COS es solo una pequeña fracción del ciclo global del carbono. Los organismos autótrofos (plantas y ciertos microorganismos) sintetizan el CO₂ atmosférico en material orgánico, a través del proceso fotosintético. Este material orgánico, una vez muerto, es incorporado al suelo por la fauna y luego transformado por organismos heterótrofos, dando como resultado una mezcla variada y compleja de residuos vegetales y productos de la descomposición microbiana en diferentes etapas de descomposición. Tales productos orgánicos, descompuestos o en etapa de descomposición, pueden asociarse con los minerales del suelo, o simplemente introducirse en sus agregados naturales, permitiendo que el COS pueda persistir en el suelo durante muy largos períodos.

El COS es el constituyente principal de la MOS, la cual incluye compuestos orgánicos en diferentes etapas de descomposición y constituye una mezcla compleja de sustancias orgánicas parcialmente descompuestas derivadas del mantillo, así como biomasa de fauna y microbiana. La MOS contiene aproximadamente entre 55-60% de carbono. Este carbono comprende la casi totalidad de las reservas de C a las que se hace referencia como COS, excepto cuando aparecen formas inorgánicas de C del suelo. La MOS es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. La MOS juega entonces un papel crucial en varias funciones del suelo y en los servicios ecosistémicos, siendo importante para garantizar la salud del suelo, la fertilidad, la producción de alimentos y la mitigación del cambio climático (FAO, 2017).

Como lo señala la FAO (2017), a nivel global, las existencias de COS se estiman en una media de 1 400 giga toneladas (Gt C) de carbono orgánico en el primer metro de suelo, lo cual representa casi el doble de la cantidad de carbono atmosférico (unas 800 Gt C, en forma de CO₂) y casi tres veces más que la contenida en la vegetación del mundo (alrededor de 500 Gt C), aunque su distribución es espacial y temporalmente variable.

A los efectos del cambio climático, un uso inadecuado de la tierra, una gestión insostenible de los suelos y el incremento de las áreas degradadas podrían convertirse en fuentes netas de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI); por el contrario, una gestión sostenible de suelos con potencial de secuestrar grandes cantidades de C, puede contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático.

La Reserva Forestal Imataca (RFI) se localiza en plena faja intertropical. En este amplio espacio del territorio venezolano se presentan diferentes condiciones de clima, vegetación, relieve y suelos que proporcionan situaciones muy variadas, tanto para fomentar el atrape de significativas cantidades de COS, así como para la emisión potencial de GEI, en función de las distintas actividades de intervención y uso de la tierra. El predominio de un clima húmedo tropical, con una amplia variabilidad de suelos tanto minerales como orgánicos, originados sobre materiales parentales muy diversos y localizados en distintas posiciones de un relieve complejo, proporciona las condiciones para el desarrollo de una vegetación igualmente



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



variada, que está en capacidad tanto de fijar grandes cantidades de CO₂ atmosférico como de aportar, a través de los procesos de descomposición y almacenamiento en el suelo, significativas cantidades de COS como reserva para el mejoramiento de sus múltiples funciones ecosistémicas, particularmente en la mitigación del calentamiento global.

2. Marco Teórico

2.1. El Ciclo del Carbono

El carbono (C) es un elemento que circula entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, los cuales conforman depósitos, reservorios o almacenes de carbono que son de interés mundial. En otras palabras, el carbono es el elemento químico clave en los compuestos de naturaleza orgánica. El ciclo del carbono está referido al paso entre los depósitos, donde ocurren mediante procesos de orden químico, físico y biológico. El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como de la emisión de gases de origen antrópico (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009).

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno, que va a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el dióxido de carbono que así se forma, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte la consumen los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos, al final, son descompuestos por los microorganismos del suelo y por ello el carbono de sus tejidos se oxida, forma dióxido de carbono y retorna a la atmósfera (Orellana, Sandoval, Linares, García y Tamariz, 2012).

En este sentido, en el suelo ocurre respiración, que consiste en la producción de CO₂ resultante de dos procesos: la ruptura u oxidación de la materia orgánica del suelo (MOS) realizada por los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de producción de CO₂ es importante porque es indicativa de la tasa de descomposición de la MOS y en consecuencia, de la cantidad de carbono que se pierde del sistema suelo. Las medidas de la respiración del suelo, en consecuencia, ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera (Lessard, Gignac y Rochette, 2006).

Se considera que el ciclo global del carbono consiste se basa en dos ciclos. Uno bioquímico a corto plazo y otro geoquímico a largo plazo. Las mediciones muestran que, anualmente, las actividades antropogénicas afectan los dos ciclos con la emisión de 8,6 Pg de carbono (siendo que el petagramo es igual a 1×10^{15} gramos o 1 billón de kilogramos). Se estima que, del carbono emitido, 3,3 Pg los absorbe la atmósfera y 2,2 Pg los absorben los océanos. De estas cifras se deduce que en los últimos 150 años hubo un incremento en las emisiones de CO₂ a la atmósfera de un 31%. Vale señalar el rol que cumple el suelo en este contexto, a partir de dos reservas, una, la de carbono orgánico del suelo (COS) y, otra, la de Carbono Inorgánico del suelo (CIS) (Verhulst, François y Govaerts, 2015).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El efecto anual neto de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición da lugar a un incremento más bien pequeño del carbono que puede almacenarse. No obstante, las ganancias acumuladas en ciertas ocasiones se pierden, bien cuando hay años de inundaciones o ya cuando la materia orgánica se consume por acción del fuego. El carbono también puede ir a otros lugares. La madera, resinas, semillas, tubérculos, todos productos orgánicos, se mueven fuera de la zona donde se producen y se integran a los flujos de comercio, concentrándose principalmente en los sistemas urbanos y en sus vertederos de residuos. Unas pequeñas proporciones de las Reservas de carbono alcanzan a filtrarse a través de la tierra e integrarse a sumideros de largo plazo como los cuerpos de agua dulce o el mar (Kurniatun, Agus, Velarde & Van Noordwijk, 2011).

2.2. Carbono Orgánico del Suelo (COS)

El COS es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8% del C orgánico de la biosfera. El COS es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Constituye un elemento clave del ciclo global de carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelos, ríos y océano. EL COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y constituye el combustible de cualquier suelo. La MOS es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, permitiendo la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Siendo importante para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos (FAO, 2017).

2.3. Materia Orgánica del Suelo (MOS)

Se considera a la materia orgánica del suelo (MOS) como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer. Inmediatamente después de la caída de los materiales al suelo y muchas veces antes, comienza un rápido proceso de transformación por parte de los macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. El proceso de descomposición está acompañado de la liberación de CO₂ y de los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos (Meléndez y Soto, 2003).

El carbono es el principal elemento que compone la MOS, equivaliendo aproximadamente al 58% de ésta. La MOS cumple un papel fundamental en importantes servicios ecosistémicos como: la estructura del suelo, al participar en la formación de agregados o terrones del suelo; la resistencia del suelo a la erosión, tanto de lluvia (hídrica) como de viento (eólica); la capacidad de infiltración, retención y almacenamiento de agua; la fertilidad del suelo, en cuanto a la disponibilidad de nutrientes para las plantas; la capacidad de liberar nutrientes desde los residuos orgánicos; la captura y secuestro de una parte importante del carbono presente en la atmósfera (Wolff y Ovalle, 2016).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3. Metodología

Para la determinación de las Reservas intermedias del COS en la RFI para el período 2000 y 2018, se consideró adecuado trabajar al Nivel 1 del IPCC (2006), esto en función de la posible incertidumbre en el análisis y procesamiento de información disponible y asumiendo las siguientes Fases Metodológicas (Figura 1).

3.1. Fase I: Establecimiento de objetivos del estudio

Como actividad inicial, se procedió a establecer los propósitos de la investigación como base para la definición de las líneas de acción a seguir para el desarrollo del estudio. En este sentido se identificaron el objetivo general y los objetivos específicos relacionados con la determinación de las Reservas intermedias del COS en la RFI, tal como sigue.

3.1.1. Objetivo general

Estimar las reservas intermedias de carbono orgánico en los primeros 30 cm de los suelos de la Reserva Forestal Imataca, para el período 2000 y 2018.

3.1.2. Objetivos específicos

- Describir las características generales de los suelos de la Reserva Forestal Imataca, considerando el análisis y corrección de información disponible.
- Determinar las reservas intermedias de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca, asociadas a las coberturas de la tierra para el año 2000, considerando las directrices metodológicas del IPCC (2006) y de la FAO (2017).
- Estimar el cambio en las reservas intermedias de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca para el año 2018, ocasionado por los cambios en el uso y cobertura de la tierra.

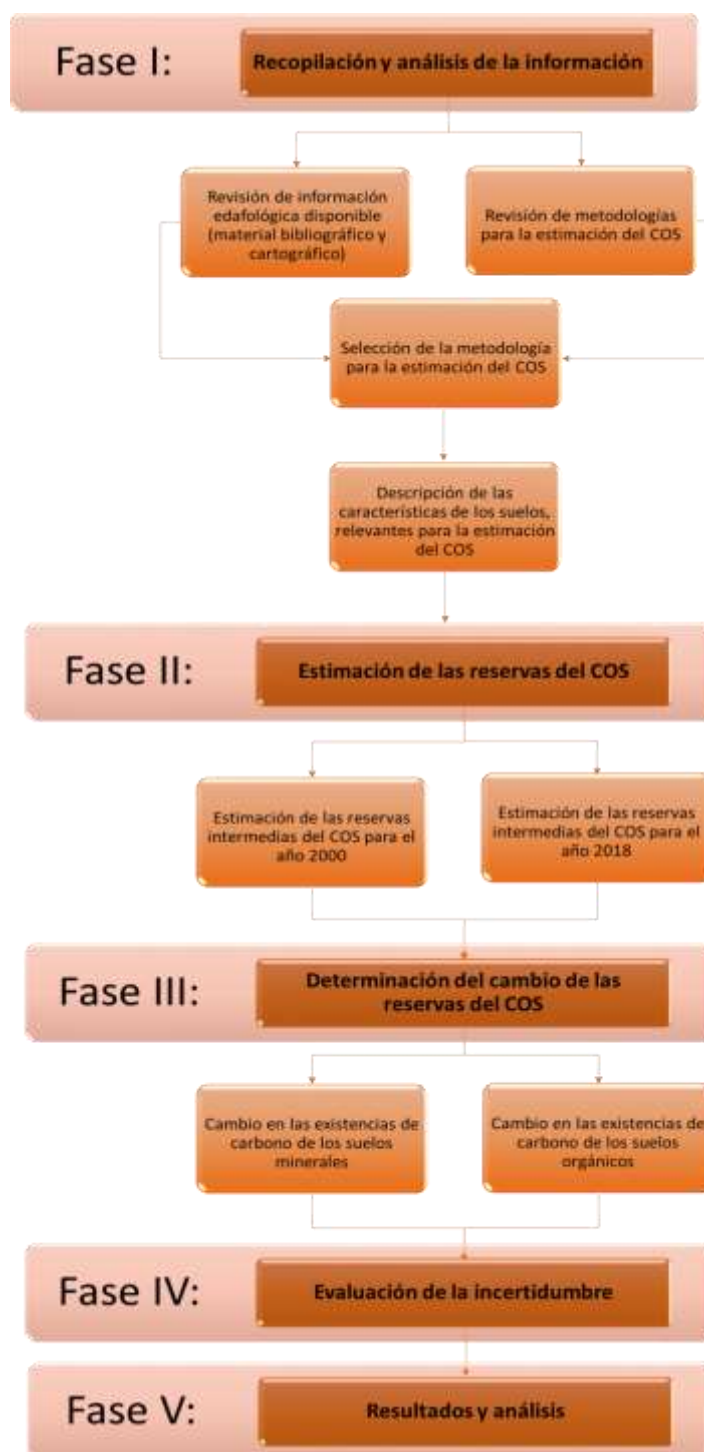


Figura 1. Fases metodológicas para la estimación de las Reservas de COS en la Reserva Forestal Imataca.

3.2. Fase II: Recopilación y análisis de la información

Se procedió a la búsqueda de información edafológica levantada previamente en estudios en muestras de suelos en el área en estudio. En este punto se consideró relevante el levantamiento a nivel de Gran Grupo de Suelos y Macroecosistemas en la RFI realizado a nivel

local por MARN y CIERFI (2000) y MARN y UCV (2003), respectivamente, a escala 1:250 000. Seguidamente, se realizó una revisión de estudios y metodologías que se prestan como antecedentes en la determinación del COS, esto con el propósito de seleccionar el método más idóneo para la estimación teórica del COS, en función de la información disponible.

En el procedimiento seleccionado, la Reserva del COS viene determinada por la Ecuación 1.

$$\text{Reserva COS} = \text{CO} * \text{Da} * \text{d}$$

(Ecuación 1)

Donde:

Reserva COS: es la Reserva de carbono orgánico en el suelo, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-2}$

CO: es el contenido de carbono orgánico en el suelo, expresado en $\text{g} * \text{kg}^{-1}$

Da: es la densidad aparente del suelo, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-3}$

d: es el espesor del suelo, asumido en 30 cm, conforme a los métodos predeterminados del IPCC (los factores del Nivel 1 se basan en una profundidad de 30 cm, tal como lo señala FAO, 2017).

3.3. Fase III: Estimación de las Reservas del COS

Elegido el método para la determinación del COS, se estimaron los valores de las variables ambientales asociadas a la materia orgánica en el suelo: clima, textura inferida del suelo, esqueleto grueso, posición en el paisaje (que se relaciona con la humedad) y tipo de cobertura vegetal predominante.

Para la evaluación del CO, no se dispuso de información previa de esta variable, por lo que para su análisis se consideró la relación de la Ecuación 2.

$$\text{CO} = \text{MO} * 1,73^{-1}$$

(Ecuación 2)

Donde:

CO: es el contenido de carbono orgánico, expresado en $\text{g} * \text{kg}^{-1}$

MO: es el contenido de materia orgánica, expresada en $\text{g} * \text{kg}^{-1}$

Considerando que en el nivel de trabajo, Nivel 1, no se dispone de muestreos de campo, para la determinación de la MO, se estimó conveniente utilizar la relación entre la *erosionabilidad del suelo* (K, expresada en $[\text{t} * \text{ha}^{-1}] * [(\text{m} * \text{mm}) * (\text{ha} * \text{h})^{-1}]$, que hace referencia a la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad en las condiciones de una parcela de dimensiones definidas, mantenida sin cobertura y labrada en sentido de la pendiente, como lo expone Wischmeir *et al.*, 1971), la textura del suelo y su contenido de Materia Orgánica, según lo reportan Kirkby y Morgan (1980, Tabla 1).

Tabla 1. Valores de erosionabilidad del suelo (K) asociados a la textura y al contenido de materia orgánica.

Textura del suelo	Contenido de materia orgánica (g/kg)				
	< 0,5	2	4	6	> 10,0
Arenosa (a)	0,007	0,004	0,003	0,002	0,001
Arenosa (a) fina	0,021	0,018	0,013	0,009	0,004
Arenosa (a) muy fina	0,055	0,047	0,037	0,027	0,015
Areno-francosa (aF)	0,016	0,013	0,011	0,009	0,005
Areno-francosa (aF) fina	0,032	0,026	0,021	0,017	0,012
Areno-francosa (aF) muy fina	0,058	0,05	0,04	0,03	0,015
Franco-arenosa (Fa)	0,036	0,032	0,025	0,016	0,011
Franco-arenosa (Fa) fina	0,046	0,04	0,032	0,024	0,018
Franco-arenosa (Fa) muy fina	0,062	0,054	0,043	0,032	0,02
Franca (F)	0,03	0,045	0,038	0,03	0,021
Franca-limosa (FL)	0,063	0,055	0,043	0,031	0,019
Limosa (L)	0,079	0,068	0,055	0,05	0,045
Franco-arcillo-arenosa (FAa)	0,036	0,033	0,028	0,023	0,018
Franco-arcillosa (FA)	0,037	0,033	0,028	0,023	0,018
Franco-arcillo-limosa (FAL)	0,049	0,042	0,034	0,026	0,02
Arcillo-arenosa (Aa)	0,018	0,017	0,016	0,015	0,013
Arcillo-limosa (AL)	0,033	0,03	0,025	0,02	0,015
Arcilloso (A)	0,038	0,034	0,03	0,025	0,017

El valor original de K (Wischmeir *et al.*, 1971) depende específicamente de cinco factores: la clase textural, el contenido de materia orgánica, el predominio de granulometrías intermedias, la estructura y la permeabilidad de los suelos. Kirkby & Morgan (1980) asumen que una buena aproximación al valor K puede obtenerse considerando solo dos variables fundamentales: MO y clase textural del suelo. La MO es una variable esencial, que suministra cementación al suelo y eleva la estabilidad de los agregados, mejorando su estructura y resistencia al desprendimiento, además de mejorar la infiltración y en consecuencia reduciendo la escorrentía. Es decir, un suelo con un buen contenido de materia orgánica disminuye su probabilidad de ser erosionado (González, 1991).

Con base a este planteamiento se tiene que, conociendo la clase textural y el factor de erosionabilidad de los suelos (K) de la RFI, se puede estimar en consecuencia el porcentaje de MO correspondiente. Con esta modificación en la interpretación del método, se concibió una alternativa para obtener una aproximación a los valores de MO (%) en la Reserva, bajo el escenario de la muy limitada información disponible al respecto.

Los valores de K dentro de la RFI (en total 402 puntos, Figura 2) fueron tomados en unidades del Sistema Inglés (y transformados a unidades del Sistema Internacional) de la base de datos del Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos (Hydro-BID). El Hydro-BID, utiliza la estructura de datos y las topologías de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



red de cuencas y corrientes de datos de Hidrología Analítica (*Analytical Hydrographic Dataset, AHD*), este sistema incorpora datos de uso de tierras, tipos de suelos, precipitaciones y temperatura dentro del área de estudio, así como los flujos de corrientes observados (Moreda, Muñoz y Miralles, 2014), en el caso de los datos de suelo, los mismos provienen de la Base de Datos Armonizada Mundial de Suelos (HWSD, por sus siglas en inglés), la cual en el continente americano fue complementada por el ISRIC-World Soil Information, junto con la FAO.

En el caso de la identificación de las clases texturales predominantes en la RFI, las mismas fueron asumidas a juicio de experto, relacionando cada punto de K con las variables: relieve, paisaje, material parental y la clasificación taxonómica a nivel de Gran Grupo, ya expuestas en MARN y UCV (2003).

Para la asignación de los valores densidad aparente, se supuso una primera aproximación en función de las clases texturales predominantes en los suelos de la Reserva (Tabla 2), posteriormente se asumió que la densidad aparente está condicionada, además, por el contenido (estimado) de materia orgánica (% MO) y la clasificación taxonómica de los suelos en el área en estudio; esto es: para suelos con un contenido de MO igual o superior a 6% se asume que la Da disminuya en aproximadamente 25%, mientras que en los Ultisoles (suelos generalmente bien estructurados), la reducción se espera en aproximadamente 10% con respecto a otros suelos con igual textura pero pobremente estructurados (Tabla 3). Todo ello en función de consultas a expertos.

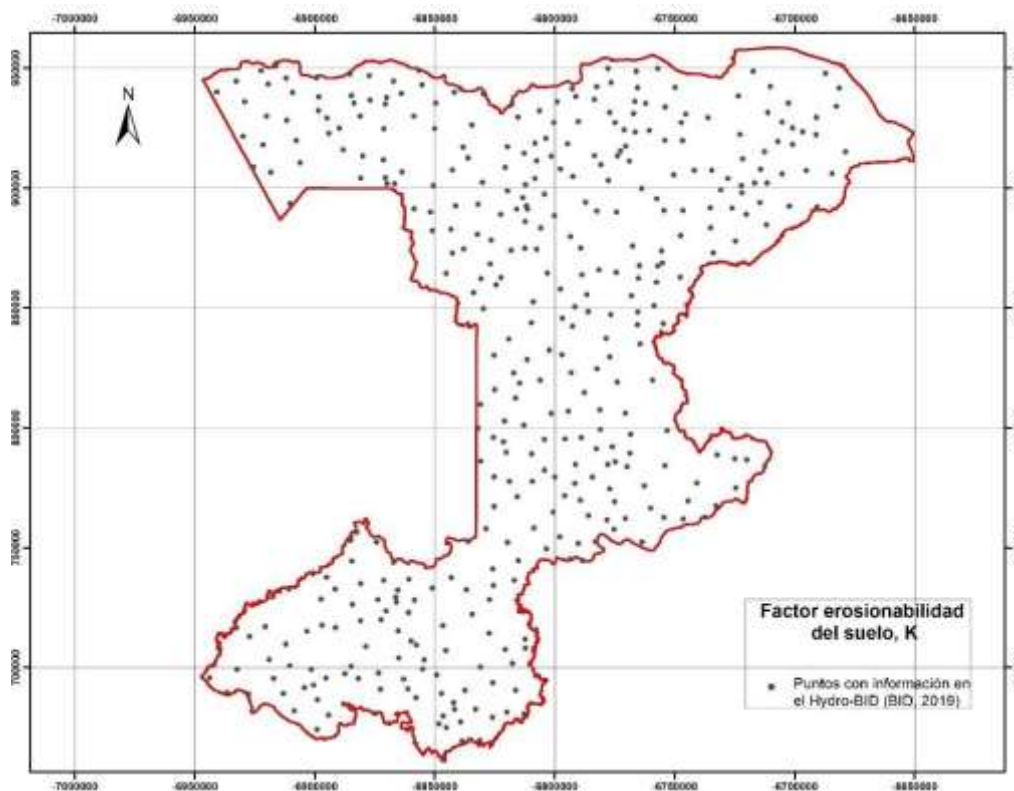


Figura 2. Puntos con información del factor erosionabilidad del suelo en la Reserva Forestal Imataca.

Fuente: BID, 2019 (con modificaciones propias).

Tabla 2. Clases texturales y densidades aparentes asumidas para los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

Clase Texturales	Da (kg*m ⁻³) *
Arenosa (a)	1,6
Areno-francosa (aF)	1,55
Franco-arenosa (Fa)	1,5
Franca (F)	1,45
Arcillo-arenosa (Aa)	1,4
Franco-arcillo-arenosa (FAa)	1,35
Arcilloso (A)	1,3

* Valores referenciales a juicio de expertos

Tabla 3. Densidades aparentes corregidas para los suelos de la Reserva Forestal Imataca

Sí:	Da corregida (kg·m ⁻³)*
MO > 6 %	Dac = 1 – 0,25 Da
Ultisol	Dac = 1 – 0,10 Da

* Factor de corrección propuesto a juicio de expertos

Una vez estimados el CO y la Da, estos fueron multiplicados por la profundidad asumida y determinadas las Reservas puntuales intermedias del COS en la RFI. Posteriormente los datos puntuales fueron interpolados con el uso de un Sistema de Información Geográfica a fin de obtener la distribución espacial del COS.

Una vez reflejada espacialmente la información, la misma fue superpuesta con el mapa de uso y cobertura de la tierra, para el año 2000, con el propósito de estimar los valores del COS en función de cada cobertura (conforme requerimientos posteriores para ejecutar la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones)

3.4. Fase IV: Determinación del cambio de las Reservas del COS

En este apartado se consideran los procedimientos y postulados del IPCC (2006) para la estimación de los cambios en las existencias de COS, que consideran que los cambios en las existencias de carbono del suelo se pueden desagregar en cambios de existencias de C en suelos minerales y emisiones de suelos orgánicos (Tabla 4), además se pueden considerar los cambios de existencias de carbono de los depósitos de C inorgánico en el suelo (Ecuación 3), no obstante debido a la limitada información científica de que se dispone para derivar factores de cambio de inventario, se supone para el Nivel 1 que el flujo neto de existencias de C inorgánico equivale a cero.

$$\Delta C_{\text{Suelos}} = \Delta C_{\text{Minerales}} - L_{\text{Orgánicos}} + \Delta C_{\text{Inorgánicos}}$$

(Ecuación 3)

Donde:

ΔC_{Suelos} : cambio anual en las existencias de carbono de los suelos, expresado en t C·año⁻¹

$\Delta C_{\text{Minerales}}$: cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales, expresado en t C·año⁻¹

$L_{\text{Orgánicos}}$: pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados, expresada en t C·año⁻¹

$\Delta C_{\text{Inorgánicos}}$: cambio anual en las existencias de carbono inorgánico de los suelos, expresado en t C·año⁻¹ (se supone como 0 a menos que se emplee un método de Nivel 3)



Tabla 4. Pasos de cálculo de C para el Nivel 1

Suelos	Pasos
<p>Suelos minerales</p>	<p>- Para suelos minerales, el método por defecto se basa en los cambios de las existencias de C en el suelo durante un período finito. El cambio se calcula sobre la base de las existencias de C después del cambio de gestión con respecto a las existencias de carbono en una condición de referencia.</p> <p>- Se consideran las siguientes hipótesis:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Con el transcurso del tiempo, el C orgánico del suelo alcanza un valor estable que se promedia en el espacio y que es específico para el suelo, el clima, el uso de la tierra y las prácticas de gestión; y ii. Los cambios en las existencias de C orgánico del suelo durante la transición a un nuevo COS en equilibrio se producen de manera lineal. <p>- Los cambios en el COS en suelos minerales se computan empleando la Ecuación 4.</p> <p>Ecuación 4. Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales.</p> $\Delta C_{\text{Minerales}} = \frac{(COS_0 - COS_{(0-T)})}{D}$ <p>Donde:</p> <p>DC_{Minerales}: cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales, expresado en t C*año⁻¹</p> <p>COS₀: existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, expresadas en t C</p> <p>COS_(0-T): existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, expresadas en t C</p> <p>COS₀ y COS_(0-T) se calculan en función de la Ecuación 5</p>

Tabla 4. Pasos de cálculo de C para el Nivel 1 (continuación)

Suelos	Pasos
<p>Suelos minerales</p>	<p>Ecuación 5. Existencias de carbono orgánico en suelos minerales para un período de inventario.</p> $COS = \sum_{c,s,i} (COS_{REF,c,s,i} * F_{LU,c,s,i} * F_{MG,c,s,i} * F_{I,c,s,i} * A_{c,s,i})$ <p>Donde:</p> <p>COS_{REF}: existencias de carbono de referencia, expresadas en t C ha⁻¹</p> <p>F_{LU}: factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión</p> <p>F_{MG}: factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión</p> <p>F_I: factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión</p> <p>A: superficie de tierra del estrato que se estima, expresada en ha</p> <p>T = cantidad de años de un período de inventario dado, expresada año</p> <p>D: dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del COS, expresada en año. Si T es mayor que D, se considera el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años)</p> <p>•Las tasas anuales de cambio en las existencias de carbono se calculan como la diferencia en las existencias (a través del tiempo) dividida por la dependencia temporal (D) de los factores de cambio de existencias (el valor por defecto es de 20 años).</p> <p>- Se supone que las existencias de C de los suelos forestales no cambian con la gestión.</p> <p>- En cuanto a tierras nativas no gestionadas, así como a tierras forestales, asentamientos y pastizales nominalmente gestionados bajo regímenes de poca perturbación, se supone que las existencias de C en el suelo son equivalentes a las de los valores de referencia (es decir, los factores de uso de la tierra, perturbación -sólo para bosques-, gestión e ingreso equivalen a 1).</p>

Tabla 4. Pasos de cálculo de C para el Nivel 1 (continuación)

Suelos	Pasos
Suelos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> - Estimar la superficie de suelos orgánicos drenados bajo bosques gestionados de cada región climática para cada año. - Seleccionar el factor de emisión apropiado (FE) para las pérdidas anuales de CO₂. - Estimar las emisiones totales acumulando el producto de la zona (A) multiplicado por el factor de emisión (FE) para todas las zonas climáticas (Ecuación 6). <p>Ecuación 6. Pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados (CO₂).</p> $L_{Orgánicos} = \sum_c (A * FE)_c$ <p>Donde:</p> <p>L_{Orgánicos}: pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados, expresada en t C*año⁻¹</p> <p>A: superficie de los suelos orgánicos drenados en el tipo de clima (c), expresada en ha</p> <p>FE: factor de emisión (Tabla 7) para el tipo de clima (c), expresado en t C*ha⁻¹* año⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las tierras convertidas en tierras forestales en suelos orgánicos dentro del período del inventario se tratan de la misma manera que las tierras forestales que permanecen como tales en suelos orgánicos.

Fuente: IPCC, 2006

Tabla 5. Factores de emisión para suelos orgánicos drenados en bosques gestionados.

Clima	Factores de emisión (ton C * ha ⁻¹ * año ⁻¹)	
	Valores	Rangos
Tropical	1,36	0,82 – 3,82
Templado	0,68	0,41 – 1,91
Boreal	0,16	0,08 – 1,09

Fuente: GPG-LULUCF citado por IPCC, 2006

La determinación del cambio de las Reservas del COS y pérdidas de CO₂, fue realizada para los cambios de uso y cobertura de la tierra, ocurridos en la Reserva Forestal Imataca en el intervalo 2000 – 2018.

3.5. Fase V: Evaluación de la incertidumbre

Tal como lo especifica el IPCC (2006), en el estudio del carbono en el suelo, en el Nivel 1, existen tres grandes fuentes de incertidumbre: incertidumbres en los datos de la actividad de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



uso y gestión de la tierra y del ambiente; incertidumbres con referencia a las existencias de C en el suelo e incertidumbres en los factores de cambios en las existencias y de emisión.

En este sentido, en el presente análisis se considera que la evaluación de la incertidumbre considerará la comparación con referencias a las reservas del COS en la Reserva Forestal de Imataca, estimadas por el SoilGrids, para el año 2015 (ISRIC, 2019). El SoilGrids, es un sistema de mapeo de suelos automatizado basado en métodos de predicciones espaciales de última generación; las predicciones de este sistema consideran modelos ajustados a nivel mundial que utilizan datos de perfil de suelos y covariables ambientales y reflejan los resultados en un mapa con resoluciones espaciales de 1 km / 250 m.

Conforme a esto, para ejecutar el cotejo, se tomaron en cuenta 50 puntos de control, por cada punto se obtuvo el COS estimado para la RFI y el COS del SoilGrids, y luego el conjunto de datos fue comparado en función del error de correlación y el promedio del COS, al objeto de conocer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.6. Fase VI: Resultados y análisis

Los resultados de las Fases anteriores se procederán a analizar y plasmar en Tablas y/o Figuras, según se considere pertinente. Los datos puntuales de COS por uso y cobertura de la tierra serán usados posteriormente para la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones.

4. Limitaciones

Para la determinación en las Reservas del COS en la Reserva Forestal de Imataca durante el período 2000 – 2018, las restricciones u obstáculos que se presentaron fueron las siguientes:

- Consideración única de estudios previos con omisión de muestreos de campo para la descripción de las características generales (relacionadas con la posición fisiográfica), las clases texturales y la erosionabilidad del suelo.
- Escasez de datos disponibles y/o confiables de las propiedades físicas y químicas de los suelos. En la Reserva la mayoría de muestreos de suelos están dirigidos al estudio de las propiedades físicas y químicas de este recurso, en áreas ya aprovechadas por la explotación forestal, por lo cual los resultados arrojados por los mismos no pudieron ser considerados al no representar fielmente las condiciones o propiedades naturales de los suelos sujetos a evaluación.

5. Hallazgos y Resultados

5.1. Los suelos de la Reserva Forestal Imataca

En el caso de la Reserva Forestal Imataca (RFI), los suelos se formaron en los últimos 200 000 a 100 000 años, a partir de sedimentos coluviales, un sustrato fuertemente sometido a procesos de intemperismo, erosión, transporte y deposición, que se caracterizan por ser suelos ácidos, muy lixiviados, de muy baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y

porcentaje de saturación de bases (%SB) y un muy bajo almacén de nutrientes con espesor variable entre 50 y 150 cm. Aunque profundos, estos suelos muestran limitaciones para el desarrollo radical, por efecto de la deficiente aireación a partir de 1 m de profundidad (Villanova, Martínez y Torres, 2010; Lozada, Soriano y Costa, 2014), predominan los Ultisoles (Figura 3 y Tabla 6), desaturados y con profundo lavado de arcilla (MARN y UCV, 2003), las características generales de los suelos en función de las posiciones fisiográficas en la Reserva se presentan en la Tabla 7.

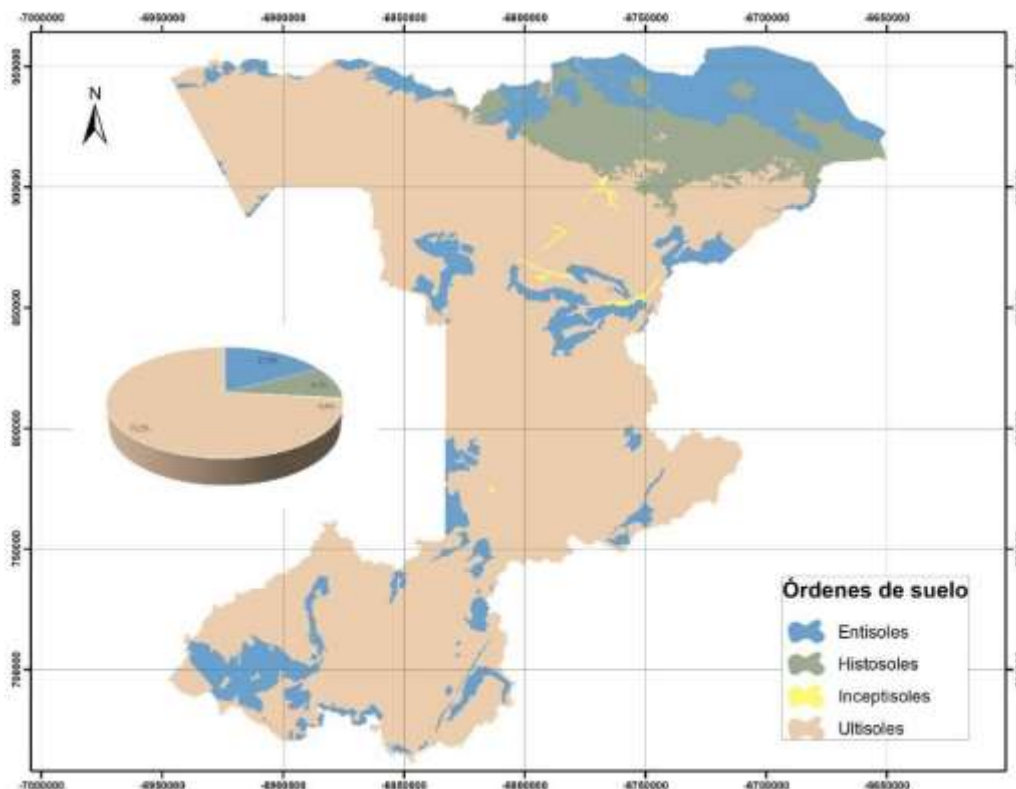


Figura 3. Distribución espacial de los órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca. Fuente: MARN y CIERFI, 2000 (con modificaciones propias).

Tabla 6. Órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca.

		Superficie ocupada en la RFI	
		km ²	%
Órdenes de suelo	Entisoles	6 468,8	17,00
	Histosoles	3 713,7	9,70
	Inceptisoles	140,9	0,40
	Ultisoles	27 830,6	72,90
Σ		38 154,0	100,00

Fuente: MARN y UCV, 2003 (con modificaciones propias)



Tabla 7. *Características generales de los suelos por posición fisiográfica en la Reserva Forestal Imataca*

Posición fisiográfica	Características generales de los suelos
Diques y napas	Texturas medias, asociados con suelos arcillosos. Se caracterizan, en general, por presentar drenaje deficiente y baja fertilidad natural, reflejada por la baja saturación de bases y por la acidez, estos suelos se han clasificado dentro de los órdenes Entisoles (Fluvaquents y Epiaquents) e Inceptisoles (Dystrudepts).
Cubetas de desborde y marismas	En la llanura cenagosa del Delta Inferior de la Planicie Fluvio-marina se han identificado suelos orgánicos clasificados a nivel de orden como Histosoles (Haplofibristis y Haplohemists). En suelos minerales recientes, se tienen Entisoles (Fluvaquents, y Endoaquents) e Inceptisoles (Dystrudepts) asociados a Histosoles con horizonte sulfúrico (Sulfihemists) en las turberas.
Planicie marina	Deposiciones marinas, los suelos dominantes son Histosoles (Haplofibristis y Haplohemists, Sulfihemists) y Entisoles (Endoaquents).
Lomas y colinas	Los suelos dominantes en las colinas son Ultisoles de régimen ústico (Ustults), con un horizonte kándico (Kandiustuls o Kandihaplustults) de baja capacidad de intercambio catiónico, lo cual significa que son suelos con baja saturación de base (<35%) y con arcilla lavada de los horizontes superiores y acumuladas en los inferiores. Asociados a estos suelos se presentan Humults (Ultisoles con más de 12 kg de CO por m ²) y Ustorthents (Entisoles con un horizonte A/C, desarrollado a partir de gneis, granitos o cuarcitas). En los topes de colinas se presentan Udorthents. En áreas de planos interlomas son suelos profundos y de texturas francas. En las interlomas, los Ultisoles son mal drenados y se identifican como Epiaquults. En las zonas intermedias de las lomas y planos interlomas estos Ultisoles pueden ser de ligeramente esqueléticos a esqueléticos. En la base de las colinas y planos bajos del Cuyuní-Sur se presentan Entisoles mal drenados (Fluvaquents) o Inceptisoles bien drenados (Dystrudepts), asociados a depósitos coluvio-aluviales.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 7. *Características generales de los suelos por posición fisiográfica en la Reserva Forestal Imataca (continuación).*

De: MARN y UCV, 2003 (con modificaciones propias)

En cuanto a las texturas predominantes, se determinó que las texturas finas ocupan la mayor superficie de la Reserva (Figura 4 y Tabla 8), unos 55,4%, seguidas por las moderadamente finas (33,6%), moderadamente gruesas (6,2%) y finas (4,8%). Las clases texturales en el área, se encuentran asociadas al relieve, material parental, grupos de suelo y posiciones geomorfológicas.

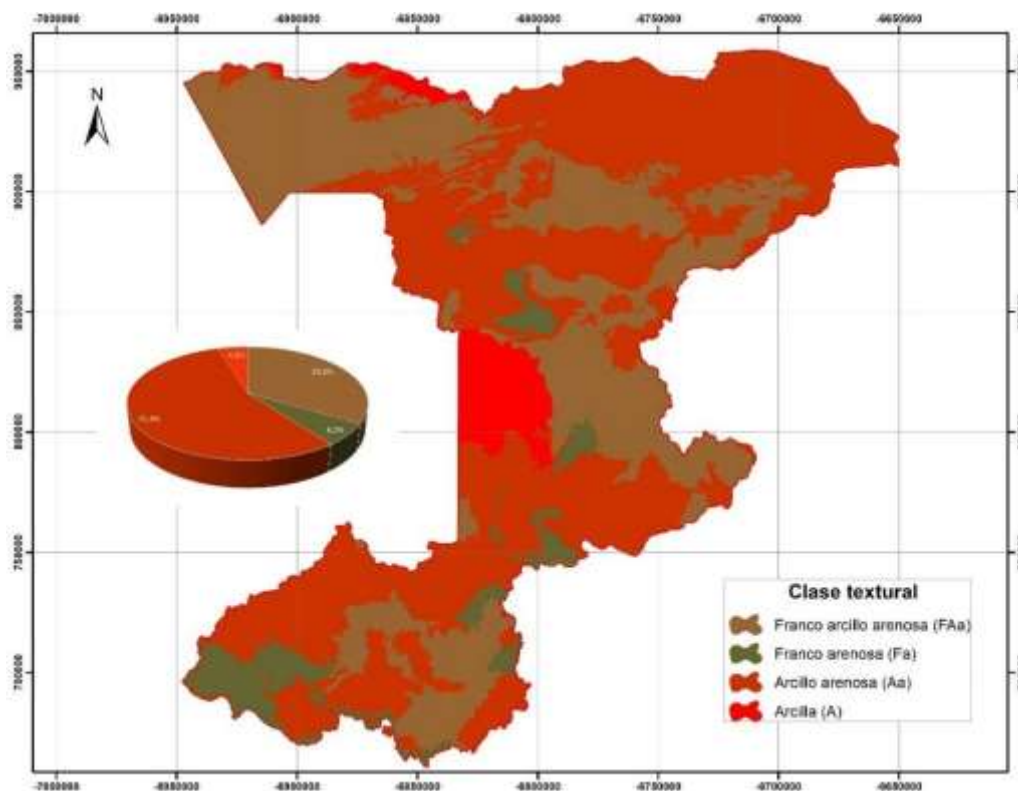


Figura 4. Distribución espacial de las clases texturales de los suelos en la Reserva Forestal Imataca.

Tabla 8. Clases texturales de los suelos en la Reserva Forestal Imataca.

		Superficie ocupada en la RFI	
		km ²	%
Clase textural	Franco arcillo arenosa (FAa)	12 811,9	33,60
	Franco arenosa (Fa)	2 367,3	6,20
	Arcillo arenosa (Aa)	21 156,0	55,40
	Arcilla (A)	1 818,8	4,80
	Σ	38 154,0	100,00

De: MARN y UCV, 2003 (con modificaciones propias).

Los suelos del área se clasifican como medianamente erosionables, con un valor promedio de K igual a 0,018 (t*ha⁻¹)*[(mJ*mm)*(ha*h)⁻¹], mínimo y máximo de 0,011 y 0,022 (t*ha⁻¹)*[(mJ*mm)*(ha*h)⁻¹], respectivamente (Figura 5).

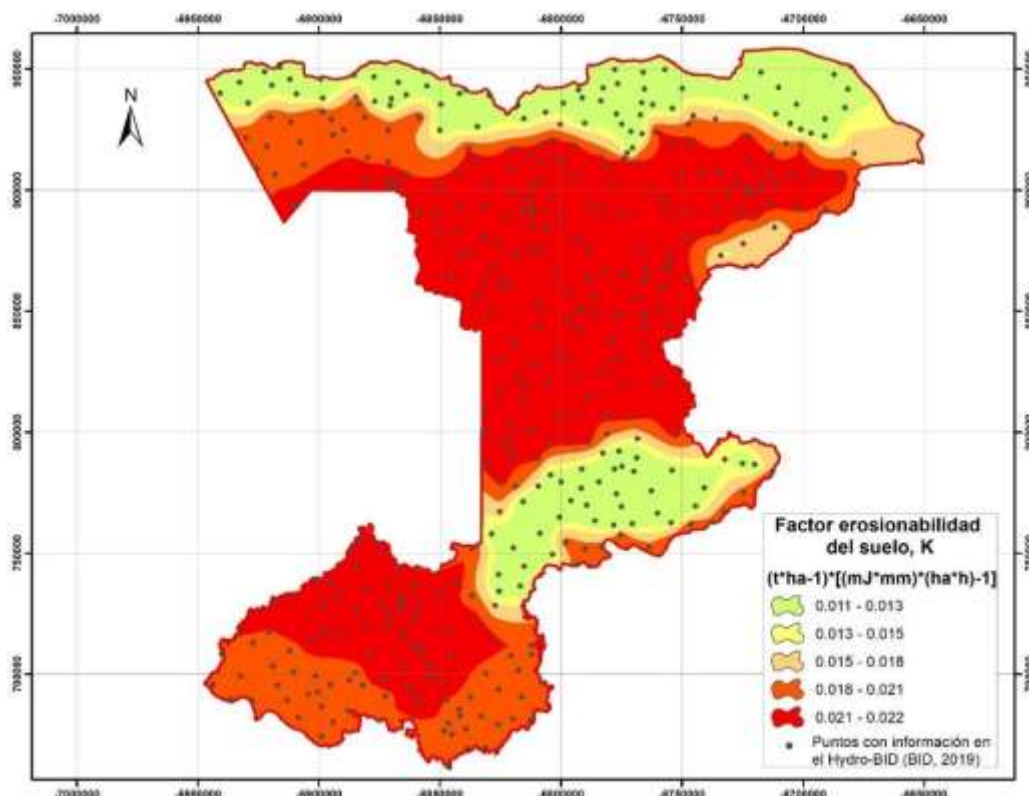


Figura 5. Distribución espacial de la erosionabilidad de los suelos en la Reserva Forestal Imataca.

5.2. Metodologías para la estimación del COS

Las metodologías para la estimación del COS pueden considerar: análisis de la dinámica del carbono en el suelo mediante modelos de reservorios, técnicas de modelización, estratificación de áreas homogéneas, estudios gravimétricos, conocimiento de los factores formadores, que se integran en ecuaciones matemáticas que permiten cuantificar el contenido de COS en el área sujeta a evaluación.

En la Tabla 9, se presenta un resumen de algunas metodologías empleadas para la determinación del COS.

Tabla 9. Algunas metodologías empleadas para el cálculo del COS.

Autor	Método
FAO (2017)	$\text{COS}_{\text{Reserva}} = p * \text{Da} * (\text{C}_{\text{total}} - \text{C}_{\text{min}}) * \text{FC}_{\text{pd}}$ <p>Donde: COS: Reserva de carbono orgánico en suelo mineral, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-2}$. C_{tot} y C_{min}: Contenido total y mineral (o inorgánico) de carbono, expresado en $\text{g} * \text{g}^{-1}$, a considerar para suelos calcáreos, y si la combustión seca ocurre normalmente a altas temperaturas (de lo contrario C_{tot} es igual a C_{min}). p: Profundidad del horizonte/orden de profundidad, expresada en m Da: Densidad aparente, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-3}$. FCpd: Factor de corrección de pedregosidad $[(1 - \% \text{ piedras})/100]$, incluyendo substracción de gravas y piedras.</p>
FAO (2017)	$\text{COS}_{\text{Reserva}} = d * \text{Da} * (\text{C}_{\text{total}} - \text{C}_{\text{min}}) * \text{FC}_{\text{pd}}$ <p>Donde: COS: carbono orgánico en capa orgánica, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-2}$. Peso: peso seco de la capa muestreada. C_{tot} y C_{min}: contenido total y mineral (o inorgánico) de carbono, expresado en $\text{g} * \text{g}^{-1}$, a considerar para suelos calcáreos, y si la combustión seca ocurre normalmente a altas temperaturas (de lo contrario C_{tot} es igual a C_{min}). FCpd: Factor de corrección de pedregosidad $[(1 - \% \text{ piedras})/100]$, incluyendo substracción de gravas y piedras.</p>
Poeplau <i>et al.</i> , 2017 (citado por FAO, 2017)	$\text{COS}_{\text{Reserva}} = p * (\text{C}_{\text{total}} - \text{C}_{\text{min}}) * (\text{masa}_{\text{tierra fina}} / \text{volumen}_{\text{muestra}})$ <p>Donde: COS: Reserva de carbono orgánico en suelo pedregoso, expresada en $\text{kg} * \text{m}^{-2}$. C_{tot} y C_{min}: Contenido total y mineral (o inorgánico) de carbono, expresado en $\text{g} * \text{g}^{-1}$, a considerar para suelos calcáreos, y si la combustión seca ocurre normalmente a altas temperaturas (de lo contrario C_{tot} es igual a C_{min}). p: Profundidad del horizonte/orden de profundidad, expresada en m</p> <p>En este método el volumen muestreado (volúmenes de muestra) no debe ser corregido en base a la pedregosidad, sino que la prioridad debe ser estimar de manera precisa la masa de tierra fina (masa tierra fina).</p>

Tabla 9. Algunas metodologías empleadas para el cálculo del COS (continuación).

Autor	Método
González, Etchevers y Hidalgo (2008)	$\text{COS} = \text{Da} * \text{Pr} * \text{C}$ <p>Donde: COS: Reserva de carbono orgánico en el suelo, expresada en t*ha⁻¹. Da: Densidad aparente, expresada en g*cm⁻³. Pr: Profundidad del suelo, expresada en cm. C: Carbono orgánico del suelo, expresado en %.</p>
Rovira (2007, citado por Gonzales, 2018)	$\text{COS} = 100 * \text{C} * \text{Da} * \text{G} * (100 - \text{V} / 100)$ <p>Donde: COS: Concentración de COS, expresada en unidades de masa por unidad de superficie para la profundidad de suelo considerada. C: Concentración de Carbono en la tierra fina, expresada en %. Da: Densidad aparente del suelo para la profundidad considerada, expresada en g*cm⁻³. G: Profundidad del horizonte estudiado, expresada en cm. V: Porcentaje del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas.</p>
Amézquita (2004)	$\text{COS} = \text{A} * \text{r} * \text{f} * \text{C} * \text{Pm}$ <p>Donde: COS: Reserva de carbono orgánico en el suelo, expresada en t*ha⁻¹ A: Área, expresada en ha. P: Densidad aparente del suelo, expresada en t*m⁻³. f C = fracción de carbono. Pm: Profundidad de muestreo, expresada en m.</p> <p>Al utilizar este método se requiere utilizar el factor de corrección (Burman) para la densidad aparente por uso de la tierra.</p>
Da Silva <i>et al.</i> (2004)	$\text{C} = \text{Conc} * \text{Da} * \text{T} * 10^{-3} * 104$ <p>Donde: C: Contenido de carbono acumulado en suelo, expresado en Mg*ha⁻¹. Da: Densidad aparente del suelo, expresada en Mg*m⁻³ T: Profundidad de la muestra, expresada en m 10⁻³: Factor para expresar en Mg de C 104: factor para expresar en Mg*ha⁻¹</p>

Tabla 9. Algunas metodologías empleadas para el cálculo del COS (continuación).

Autor	Método
Rovira (2007, citado por Gonzáles, 2018)	$\text{COS} = 100 * C * \text{Da} * G * (100 - V / 100)$ <p>Donde:</p> <p>COS: Concentración de COS, expresada en unidades de masa por unidad de superficie para la profundidad de suelo considerada.</p> <p>C: Concentración de Carbono en la tierra fina, expresada en %.</p> <p>Da: Densidad aparente del suelo para la profundidad considerada, expresada en $\text{g} * \text{cm}^{-3}$.</p> <p>G: Profundidad del horizonte estudiado, expresada en cm.</p> <p>V: Porcentaje del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas.</p>

5.3. Estimación del COS en la Reserva Forestal Imataca para el año 2000

Una vez realizada esta revisión se consideró como adecuada para la RFI, la expresión descrita anteriormente en la Ecuación 1. Para hacer posible la aplicación del método, se hizo necesaria la determinación teórica del contenido de carbono orgánico (CO, conforme a expresión de la Ecuación 2) y la densidad aparente corregida (Dac, según la Tabla 3), considerando una profundidad de 30 cm.

Como se expuso anteriormente siendo el CO una expresión de la MO, se procedió a calcular la misma aplicando la relación de Kirkby y Morgan (1980, Tabla 1), obteniéndose que en la Reserva el contenido medio de MO es de 5,36% mientras que el del CO se estimó en 3,10% (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Contenido de materia orgánica y carbono en el suelo asociados por clase textural y órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca.

		MO (%)		CO (%)	
		MO media estimada	Desviación estándar	CO medio estimado	Desviación estándar
Clase textural	Franco arcillo arenosa (FAa)	6,02	2,46	3,48	1,42
	Franco arenosa (Fa)	5,23	2,14	3,02	1,24
	Arcillo arenosa (Aa)	4,86	3,58	2,81	2,07
	Arcilla (A)	6,69	2,34	3,86	1,35
Órdenes de suelo	Entisoles	6,79	3,18	3,93	1,84
	Histosoles	4,69	3,43	2,71	1,98
	Inceptisoles	4,37	2,21	2,52	1,28
	Ultisoles	5,12	3,04	2,96	1,76

Tabla 11. *Contenido de materia orgánica y carbono orgánico en el suelo asociados por tipo de uso y cobertura de la tierra.*

Categorías	Uso y Cobertura Subcategorías	Año	MO (%)		CO %	
			MO media estimada	Desviación estándar	CO medio estimado	Desviación estándar
Tierras forestales	Plantación de inundación mareal	2000	8,2	3	4,74	1,73
	Bosque de pantano	2000	6,55	3,54	3,79	2,05
	Bosque deciduo estacional	2000	4,15	4,09	2,4	2,36
	Bosque degradado	2000	4,6	2,99	2,65	1,73
	Bosque húmedo tropical	2000	4,9	2,95	2,84	1,71
	Bosque siempreverde	2000	5,82	3,09	3,36	1,78
Tierras agrícolas	Plantación forestal	2000	10	0	5,78	0
	Cultivos	2000	7,76	3,41	4,49	1,97
Pastizales	Corta fuego	2000	5,53	2,09	3,2	1,21
(Praderas)	Herbazal	2000	8,13	3	4,7	1,74
Humedales	Pecuario	2000	6,61	4,27	3,82	2,47
	Turberas	2000	9,9	0,76	5,72	0,44
Asentamientos	Asentamientos humanos	2000	8,38	2,33	4,83	1,35
Otras tierras	Otras coberturas	2000	5,74	0,56	3,32	0,32
	Promedio estimado para la RFI	2000	5,36	3,17	3,1	1,83

Los suelos orgánicos (suelos clasificados como Histosoles o suelos con un contenido de MO no menor a 8%; Figura 6); ocupan aproximadamente un 31% de la Reserva y se extienden sobre las llanuras cenagosas con turberas (Figuras 7 y 8). En lo que respecta a las densidades aparentes corregidas en función del contenido de MO y órdenes de suelo, se obtuvo que los valores oscilan entre 0,975 kg*m⁻³ y 1,4 kg*m⁻³ (Figura 9).

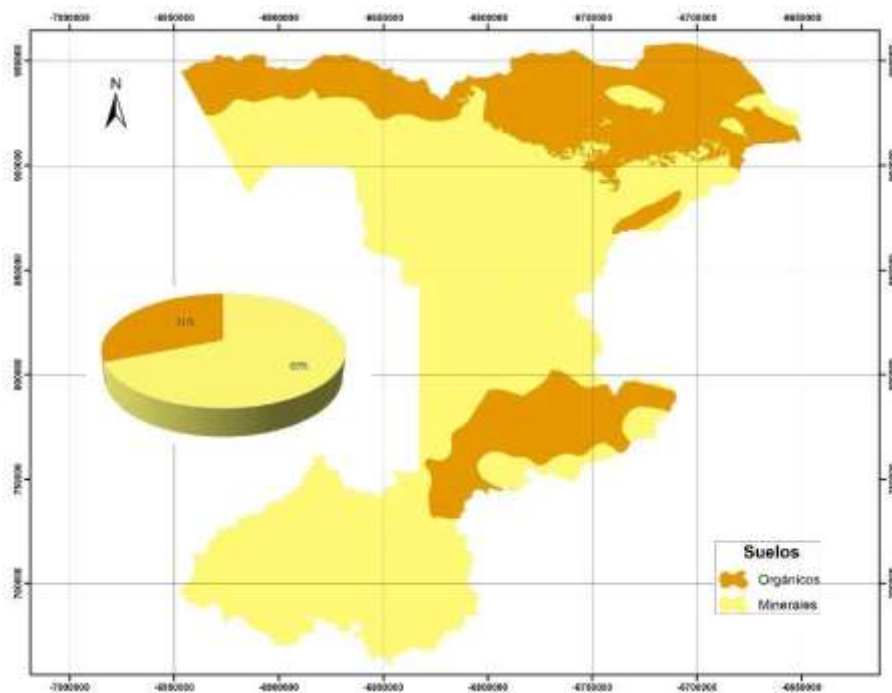


Figura 6. Distribución de suelos orgánicos y minerales, en la Reserva Forestal Imataca.

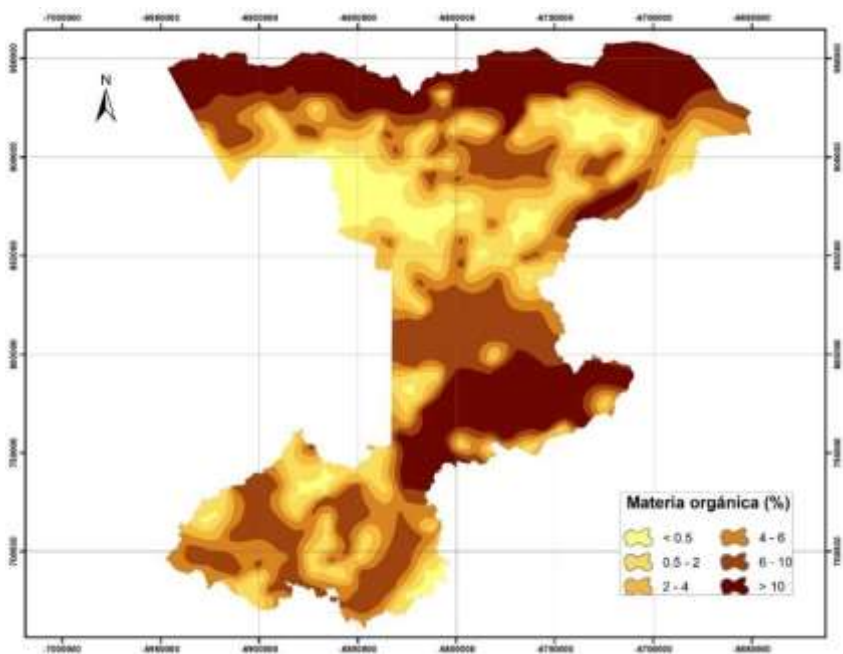


Figura 7. Distribución espacial de la materia orgánica en los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

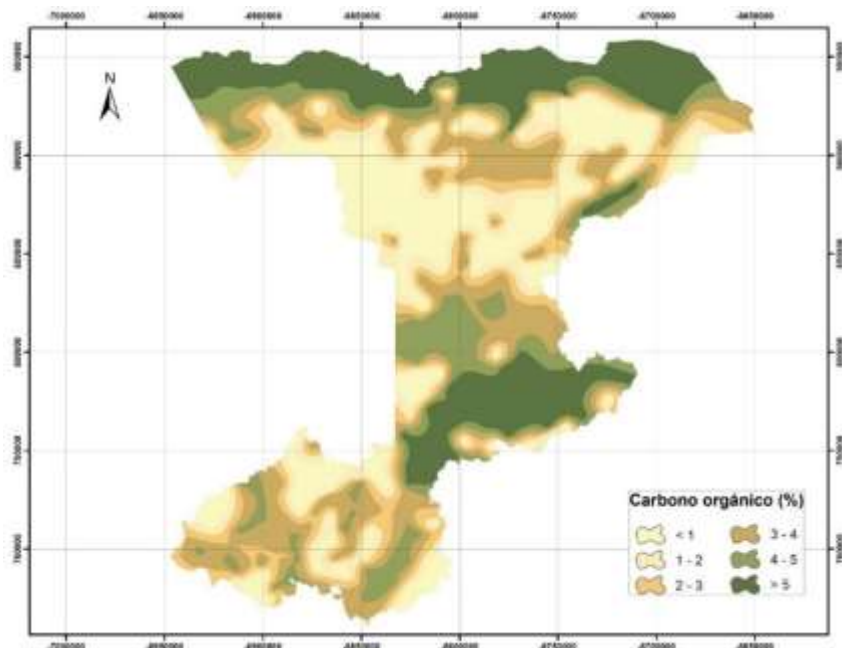


Figura 8. Distribución espacial del carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

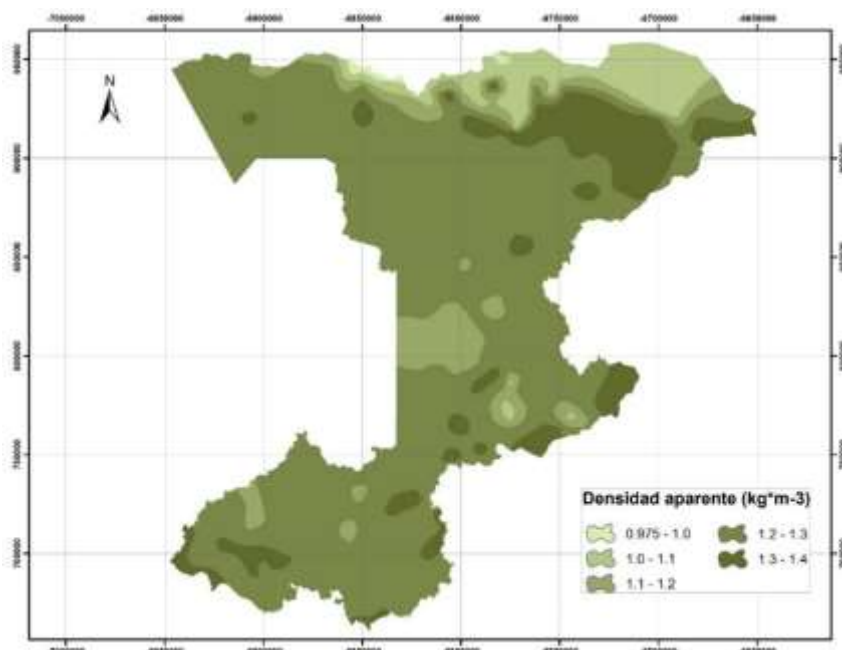


Figura 9. Densidad aparente de los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

Una vez conocidos los valores de CO y Da se procedió a calcular el COS, obteniéndose una reserva promedio estimada para la RFI de $112,21 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, con valores máximos y mínimos de $10,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $242,31 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 10), respectivamente.

Los mayores valores estimados (Tabla 12) se relacionan con los suelos orgánicos en la Reserva, los Histosoles (*haplohemist*, *haplofibrist* y *sulfihemist*) y en algunos Entisoles (*endoaquents* y *endoaquepts*) ubicados en sedimentos marinos-aluvión, con coberturas clasificadas como bosques pantanosos y turberas (Tabla 13). Específicamente se tiene que en suelos minerales el COS promedio es de 89,24 Mg*ha⁻¹, mientras que en suelos orgánicos la tasa promedio del COS es de 164,53 Mg*ha⁻¹ (Tabla 14).

Tabla 12. Reservas de carbono orgánico en el suelo, asociadas por clase textural y órdenes de suelo en la Reserva Forestal Imataca.

Órdenes de suelo	COS (Mg*ha ⁻¹)			
	COS medio estimado	COS mínimo estimado	COS máximo estimado	Desviación estándar
Entisoles	6,79	10,89	242,28	57,9
Histosoles	96,37	11,22	242,31	64,07
Inceptisoles	93,54	10,92	203,84	46,92
Ultisoles	109,67	10,91	234,02	64,41

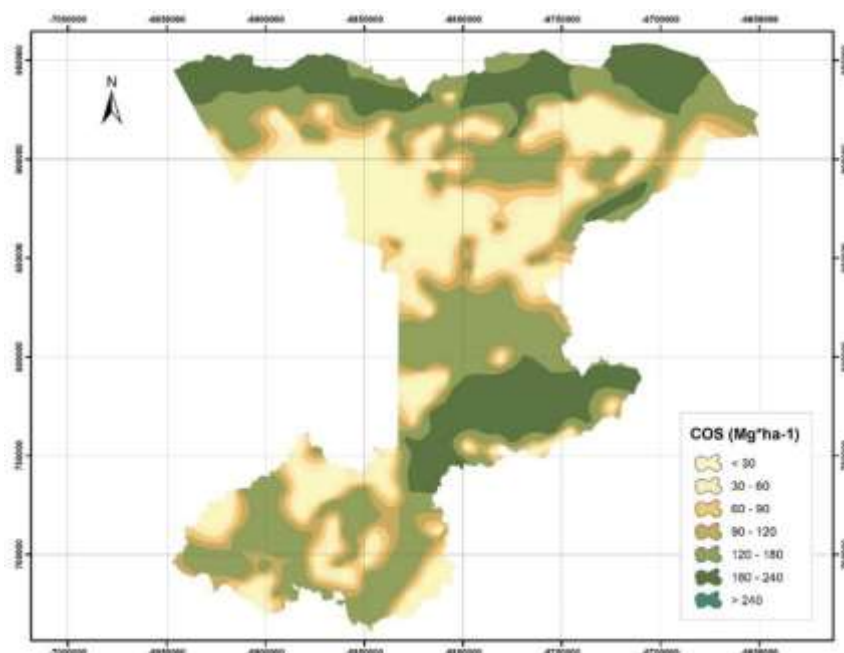


Figura 10. Reservas de carbono orgánico en el suelo, en la Reserva Forestal Imataca.

Tabla 13. Reservas de carbono orgánico en el suelo, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra en la Reserva Forestal Imataca.

Categorías	Uso y Cobertura Subcategorías	Año	COS (Mg*ha ⁻¹)			Desviación estándar
			COS medio estimado	COS mínimo estimado	COS máximo estimado	
Tierras forestales	Plantación de inundación mareal	2000	151,8	12,24	217,48	49,97
	Bosque de pantano	2000	128,06	11,22	242,31	62,96
	Bosque deciduo estacional	2000	88,36	10,92	212,82	86,17
	Bosque degradado	2000	97,24	10,92	221,02	62,89
	Bosque húmedo tropical	2000	106,09	10,89	242,28	63,06
Tierras forestales	Bosque siempreverde	2000	123,61	10,92	233,89	64,28
Tierras agrícolas	Plantación forestal	2000	213,76	211,18	217,61	1,63
Pastizales	Cultivos	2000	163,55	10,92	228,15	71,64
	Corta fuego	2000	117,16	30,52	160,13	43,59
(Praderas)	Herbazal	2000	150,72	10,92	222,81	59,18
Humedales	Pecuario	2000	140	10,92	218,47	90,24
	Turberas	2000	202,05	10,92	218,5	19,08
Asentamientos	Asentamientos humanos	2000	179,05	10,92	218,45	50,24
Otras tierras	Otras coberturas	2000	124,69	88,75	134,94	10,78
Promedio estimado para la RFI		2000	112,21			

Tabla 14. Reservas de carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra en la Reserva Forestal Imataca.

Categorías	Uso y Cobertura Subcategorías	Año	COS (Mg*ha ⁻¹) en suelos minerales		COS (Mg*ha ⁻¹) en suelos orgánicos	
			COS medio estimado	Superficie (ha)	COS medio estimado	Superficie (ha)
Tierras forestales	Plantación de inundación mareal	2000	78,62	1 458 60	164,64	10 216,90
	Bosque de pantano	2000	121,71	56 577,61	128,81	558 328,35
	Bosque deciduo estacional	2000	29,29	7 043,93	211,4	3 369,36
	Bosque degradado	2000	86,6	114 880,86	204,92	11 356,94
Tierras forestales	Bosque húmedo tropical	2000	87,91	2 078 880,00	198,95	400 425,00
	Bosque siempreverde	2000	92,04	328 361,82	197,84	139 451,41
	Plantación forestal	2000	0	0	213,8	2 070,6
Tierras agrícolas	Cultivos	2000	67,5	2 757,84	204,86	6 360,95
Pastizales	Corta fuego	2000	117,16	685,51	0	0
(Praderas)	Herbazal	2000	116,54	10 358,9	167,8	34 848,6
	Pecuario	2000	36,78	1 724,39	211,37	2 446,35
Humedales	Turberas	2000	98,64	122,14	203,86	6 695,36
Asentamientos	Asentamientos humanos	2000	136,16	149,36	210,95	223,34
Otras tierras	Otras coberturas	2000	124,69	181,79	0	0
Promedio estimado para la RFI		2000	89,24		164,54	

5.4. Estimación de los cambios en las existencias del COS en la Reserva Forestal Imataca para el año 2018

Tal como se expuso anteriormente, la estimación de los cambios en la existencia del COS se ejecutará sobre las Directrices del IPCC (2006) para el Nivel 1, conforme a esto se tiene que:

- Considerando que la dependencia temporal (D) de los factores de cambio de existencias es menor a 20 años ($D < 20$ años), se supone que no hay cambios en las existencias de COS en suelos minerales. Para la RFI los suelos minerales se corresponderían a aquellos no clasificados como Histosoles o suelos con un contenido de MO menor a 8%; se asume entonces que en el 68,91% de la superficie de la Reserva (26 290,48 km², Figura 10) no se tienen cambios en el COS para el período comprendido entre los años 2000 y 2018.
- Para estimar las variaciones del COS de suelos orgánicos se consideran las pérdidas o ganancias anuales de carbono en suelos drenados considerando un factor de emisión anual ($EF = 1,36 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en función del clima) y la conversión en el uso y cobertura de la tierra (Tablas 15 y 16). Obteniéndose que las Reservas de COS en las turberas y bosques pantanosos de la RFI aumentaron a 274,79 y 174,16 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente (Tabla 17).

Tabla 15. *Conversión del uso y cobertura de la tierra en suelos orgánicos, en la Reserva Forestal Imataca.*

Uso y Cobertura		Superficie cubierta (ha) por año		Conversión del uso y cobertura de la tierra
Categorías	Subcategorías	2000	2018	
Tierras forestales	Plantación de inundación mareal	10 216,90	7 378,63	-2 838,27
	Bosque de pantano	558 328,35	561 060,42	2 732,07
	Bosque deciduo estacional	3 369,36	3 205,38	-163,98
	Bosque degradado	11 356,94	31 841,62	20 484,68
	Bosque húmedo tropical	400 425,00	381 793,34	-18 631,66
	Bosque siempreverde	139 451,41	131 447,95	-8 003,46
	Plantación forestal	2 070,60	20 664,48	18 593,88
Tierras agrícolas	Cultivos	6 360,95	8 284,56	1 923,61
Pastizales	Herbazal	34 848,60	35 375,21	526,61
(Praderas)	Pecuario	2 446,35	4 477,06	2 030,71
Humedales	Turberas	6 695,36	8 128,87	1 433,51
Asentamientos	Asentamientos humanos	223,34	242,94	19,60

Tabla 16. Efectos sobre las Reservas de carbono orgánico en suelos orgánicos de la Reserva Forestal Imataca, por cambios en el tipo de uso y cobertura de la tierra.

Categorías	Uso y Cobertura		Cambios Año 2018 *	Efectos sobre el COS
		Subcategorías		
Tierras forestales		Plantación de inundación mareal	Disminución	Emisión
		Bosque de pantano	Incremento	Captura
		Bosque deciduo estacional	Disminución	Emisión
		Bosque degradado	Incremento	Emisión
		Bosque húmedo tropical	Disminución	Emisión
		Bosque siempreverde	Disminución	Emisión
		Plantación forestal	Incremento	Captura
Tierras agrícolas		Cultivos	Incremento	Emisión
Pastizales		Herbazal	Incremento	Emisión
(Praderas)		Pecuario	Incremento	Emisión
Humedales		Turberas	Incremento	Captura
Asentamientos		Asentamientos humanos	Incremento	Emisión

* Nota: Disminución o incremento de la superficie para el año 2018, en comparación con el año 2000.

Tabla 17. Cambios en las Reservas de carbono orgánico en suelos orgánicos de la Reserva Forestal Imataca, asociadas por tipo de uso y cobertura de la tierra.

Categorías	Uso y Cobertura		Año	COS medio estimado (Mg*ha ⁻¹)
		Subcategorías		
Tierras forestales		Plantación de inundación mareal	2018	105,37
		Bosque de pantano	2018	175,18
		Bosque deciduo estacional	2018	135,3
		Bosque degradado	2018	131,15
		Bosque húmedo tropical	2018	127,33
		Bosque siempreverde	2018	126,62
		Plantación forestal	2018	290,77
Tierras agrícolas		Cultivos	2018	131,11
Pastizales		Herbazal	2018	107,39
(Praderas)		Pecuario	2018	135,28
Humedales		Turberas	2018	277,25
Asentamientos		Asentamientos humanos	2018	135,01
		Promedio estimado para la RFI	2018	156,48

5.5. Conversión del COS a emisiones de CO₂ en los suelos de la Reserva Forestal Imataca

Tal como lo establece el IPCC (2006), los cambios de las categorías de existencias de C (que impliquen transferencias a la atmósfera) se pueden convertir en unidades de emisión de

CO₂ multiplicando el cambio en las existencias de C por 44/12, conforme a esto, las emisiones evitadas de CO₂ en la RFI se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Emisiones de CO₂ evitadas en la Reserva Forestal Imataca.

Categorías	Uso y Cobertura Subcategorías	Emisiones de CO ₂ evitadas (Mg*ha ⁻¹ *año ⁻¹)
Tierras forestales	Plantación de inundación mareal	556,6
	Bosque de pantano	469,55
	Bosque deciduo estacional	323,99
	Bosque degradado	356,55
	Bosque húmedo tropical	389
	Bosque siempreverde	453,24
	Plantación forestal	783,79
Tierras agrícolas	Cultivos	599,68
Pastizales (Praderas)	Corta fuego	429,59
	Herbazal	552,64
Humedales	Pecuario	513,33
	Turberas	740,85
Asentamientos	Asentamientos humanos	656,52
Otras tierras	Otras coberturas	457,2
	Promedio estimado para la RFI	411,44

* Nota: Conforme a las coberturas para el año 2000, los valores para el año 2018 se consideran equivalentes por no exceder el tiempo de 20 años requeridos para el Nivel 1 de análisis.

5.6. Evaluación de la incertidumbre

Para determinar la confiabilidad de los resultados estimados se tomaron en cuenta 50 puntos de control, por cada punto se obtuvo el COS estimado para la RFI (Figura 10) y el COS del SoilGrids (Figura 11), obteniéndose que para el área de estudio las medias se sitúan en 112,21 Mg*ha⁻¹ y 100,29 Mg*ha⁻¹, respectivamente (Tabla 19), lo que representa una variación 10,62% en los resultados y un nivel de confianza de 18,04.

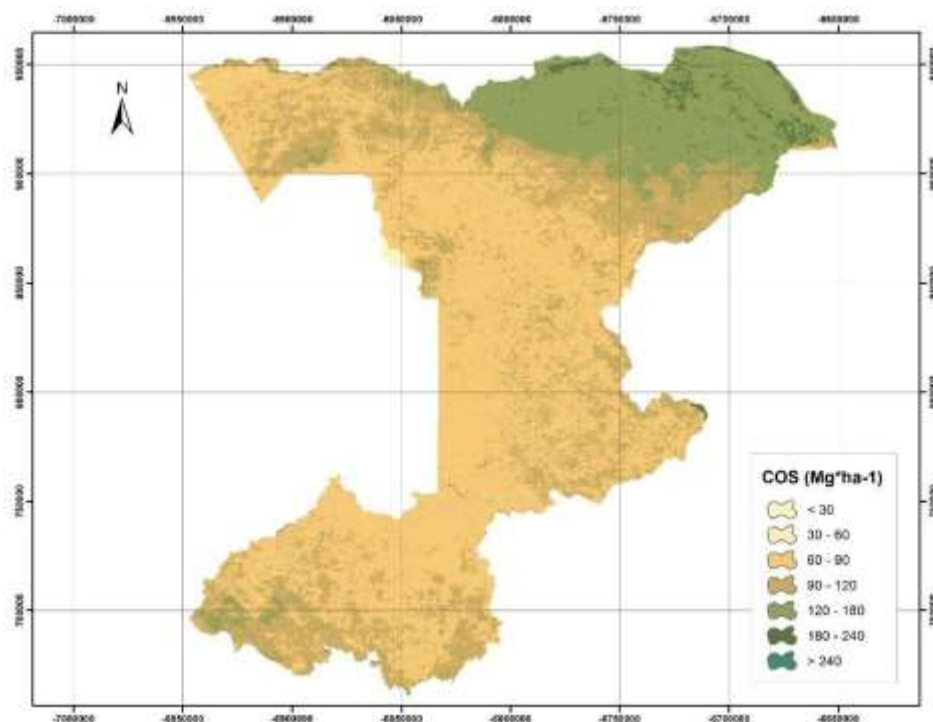


Figura 11. Reservas de carbono orgánico en el suelo según el modelo mundial SoilGrids, en la Reserva Forestal Imataca.

Fuente: ISRIC, 2015 (con modificaciones propias).

Tabla 19. Incertidumbre de las tasas promedio de las Reservas de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca.

Punto	COS medio estimado (Mg*ha ⁻¹)	COS medio reflejado por el SoilGrids (Mg*ha ⁻¹)
1	200,9	77
2	151,25	92
3	109,35	100
4	144,68	153
5	182,09	157
6	36,24	105
7	122,39	119
8	10,92	65
9	52,94	80
10	110,99	76
11	139,17	89
12	139,17	89
13	150,57	78

Tabla 19. Incertidumbre de las tasas promedio de las Reservas de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca (continuación)

Punto	COS medio estimado (Mg*ha ⁻¹)	COS medio reflejado por el SoilGrids (Mg*ha ⁻¹)
14	13,48	73
15	184,53	87
16	222,78	86
17	144,39	93
18	215,67	85
19	218,78	86
20	176,58	75
21	142,89	94
22	148,29	91
23	40,54	106
24	143,60	86
25	62,58	80
26	75,53	93
27	104,99	105
28	150,85	103
29	146,91	98
30	11,66	99
31	143,27	87
32	50,53	68
33	127,47	99
34	53,00	103
35	10,92	102
36	105,97	183
37	215,03	86
38	140,43	89
39	52,26	102
40	10,92	90
41	119,85	95
42	178,93	148
43	182,08	146
44	192,31	163
45	104,49	108
46	152,17	69
47	106,82	106
48	66,16	98
49	210,53	81
50	12,13	165

Tabla 19. *Incertidumbre de las tasas promedio de las Reservas de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Forestal Imataca (continuación)*

Punto	COS medio estimado (Mg*ha ⁻¹)	COS medio reflejado por el SoilGrids (Mg*ha ⁻¹)
Máximo	242,30	276
Promedio	112,21	100,29
Mínimo	10,89	20
Nivel de confianza (95,0%)	18,04	8,14

6. Conclusiones y recomendaciones

La tasa de COS en los suelos orgánicos de la Reserva Forestal de Imataca se estiman en 164,54 Mg*ha⁻¹ para el año 2000 y 156,48 Mg*ha⁻¹ en 2018, lo que evidencia un incremento en la presión del uso del recurso, que implica a su vez cambios en las categorías de existencia de carbono, que conlleva a un ligero aumento en la emisión de CO₂ a la atmósfera; no obstante estos cálculos el potencial de secuestro y almacenamiento de carbono (por emisiones de CO₂ evitadas), puede considerarse alto, al calcularse en 411,44 Mg*ha⁻¹.

La cobertura que contribuye en mayor medida a evitar las emisiones se corresponde a las turberas asociadas a los Histosoles, en la planicie marina y las cubetas de desborde y marismas de la Reserva, con una tasa estimada de 740,85 Mg*ha⁻¹ *año⁻¹ de emisiones de CO₂ evitadas. Sin embargo, los cambios en los usos y coberturas de los suelos, infieren que esta tasa disminuirá con el tiempo, sino se toman las medidas que garanticen una gestión sostenible de los recursos bosques y suelos y que eviten la emisión de CO₂ a la atmósfera.

Aunque no se contó con muestreos directos en campo, los resultados fueron validados a través de la comparación con los resultados de las tasas medias de COS para la Reserva estimadas por el SoilGrids para el año 2015, obteniéndose que con la metodología aplicada se refleja una variación de apenas el 10,62% en los resultados.

Se debe resaltar que para la optimización de las estimaciones ejecutadas se hace necesario:

i) muestreos en campo de la densidad aparente, profundidad y los contenidos de materia orgánica y/o carbono orgánico en los suelos de la Reserva y ii) el estudio de la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias para un lapso mayor a 20 años (D>20 años).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



7. Bibliografía

BID. 2019. *Plugin de QGIS para la simulación de escenarios de recursos hídricos*. Banco Interamericano de Desarrollo. (Disponible en: <https://code.iadb.org/es/repositorio/12/hydro-bid>). Acceso: 14 de agosto de 2019.

Da Silva J. et al. 2004. *Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brasil*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103: 357-363 pp.

FAO. 2017. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

González L., Etchevers J. e Hidalgo C. 2008. *Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo*. *Revista Agrociencia* 42: 741-751 pp.

Gonzales E. et al. 2018. *4 por mil: El carbono orgánico del suelo como una herramienta para la mitigación y adaptación para al cambio climático*. (Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/4por1000_tcm30-438109.pdf). Acceso: 16 de agosto de 2019.

González M. 1991. *La ecuación universal de pérdida de suelo. Pasado, presente y futuro*. Madrid, España. *Ecología*, N° 5: 13-50 pp. ICONA.

IPCC. 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Hayama, Japón. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>). Acceso: 20 de marzo de 2019.

Lessard R., Gignac L. y Rochette P. 2006. *El ciclo del carbono: Midiendo el flujo del CO₂ del suelo*. Green Teacher Education for Planet Earth. (Disponible en: <https://greenteacher.com/article%20files/elciclodelcarbono.pdf>). Acceso: 30 de mayo de 2019.

Lozada J., Soriano P. y Costa M. 2014. *Relaciones suelo-vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela*. *Revista Biología Tropical*. Vol. 62 (1): 385-401 pp.

Kirkby M. y Morgan R. 1980. *Soil erosion*. New York. USA. John Wiley and Sons.

Kurniatun, H., Agus, F., Velarde, S. y Van Noordwijk, M. 2011. *Medición del carbono de los usos de la tierra*. Capítulo 5. pp 5-30. En: White, Douglas y Minang, Peter. (eds.) *Estimación de costos de oportunidad de REDD+. Manual de capacitación. Versión 1.4*. Washington. Banco Mundial.

MARN y CIERFI ULA. 2000. *Levantamiento de la información básica existente sobre la flora de la Reserva Forestal Imataca*. Mérida (Venezuela). Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y Comisión Interna para la Evaluación de la Reserva Forestal Imataca, Universidad de Los Andes (UFORGA).

MARN y UCV. 2003. *Bases técnicas para el ordenamiento territorial de la Reserva Forestal Imataca*. Caracas (Venezuela). Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y Universidad Central de Venezuela.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Meléndez G. y Soto G. 2003. *Taller de Abonos Orgánicos*. Costa Rica. CATIE/GTZ. (Disponible en:

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>). Acceso: 23 de marzo de 2019.

Moreda F., Muñoz R. y Miralles F. 2014. *Hydro-BID: Un sistema integrado para la simulación de impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Parte 2*. Banco Interamericano de Desarrollo. (Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/16910/hydro-bid-un-sistema-integrado-para-la-simulacion-de-impactos-del-cambio>). Acceso: 11 de agosto de 2019.

Orellana G., Sandoval M., Linares G., García N. y Tamariz J. 2012. *Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios*. Avances en Ciencias e Ingeniería. Vol. 3 (1): 123-135 pp.

Rügnitz M., Chacón M. y Porro R. 2009. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Primera edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consortio Iniciativa Amazónica (IA).

ISRIC. 2015. *SoilGrids 250m: Soil organic carbon content (fine earth fraction) in g per kg at depth 0.30 m*. (Disponible en: https://soilgrids.org/#/!/?layer=ORCDRC_M_sl4_250m&vector=1). Acceso: 18 de julio de 2019.

Verhulst N., François I. y Govaerts B. 2015. *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. DF, México. CIMMYT. MasAgro. 16p.

Villanova E., Martínez H. y Torres A. 2010. *El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal Imataca*, Venezuela. Interciencia. Vol. 35 N°9: 659-665 pp.

Wischmeier W. et al. 1971. *A soil credibility nomograph for farmland and construction sites*. Journal of Soil and Water Conservation 26:189-193 pp.

Wolff M. & Ovalle C. 2016. *El Secuestro de Carbono en los Suelos Importancia de la Materia Orgánica del Suelo (MOS)*. Quilamapu. Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación, INIA (Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40548.pdf>). Acceso: 22 de julio de 2019.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 11

Valoración Ambiental y Económica del Servicio Ecosistémico Control de la Erosión del Suelo y Sedimentación en la Reserva Forestal Imataca

Resumen

En este capítulo se aborda la valoración ambiental y económica del SE control de la erosión y sedimentación, para algunas subcuencas seleccionadas de la RFI.

Para tal fin se identificaron cada una de las subcuencas aportantes de sedimentos en la RFI. Seguidamente, se estimaron los valores K, R, LS, C y P para aplicar la USLE en las subcuencas. A continuación, se calcularon las diferentes tasas de erosión de las subcuencas. Se prosiguió con el cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las distintas subcuencas. Luego, se clasificaron las subcuencas de acuerdo con su tasa de erosión. A partir de allí, se seleccionaron las subcuencas donde se realizó la valoración económica. Seguidamente, se estimó la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas. A continuación, se procedió a valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas y finalmente, se discutieron los resultados.

Para el caso específico de la RFI, en cuanto a erosividad de la lluvia o Factor R, se calculó con información pluviométrica generada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Asimismo, los otros factores considerados como son el factor de erosionabilidad del suelo (K), el factor topográfico (LS) y el relacionado con la cobertura vegetal y de manejo (Factor C), fueron obtenidos de la base de datos del modelo HydroBID. El factor P que se relaciona con las prácticas de conservación, se asumió un valor constante de 1 debido a la ausencia de estas.

Para cada uno de estos factores se planteó un conjunto de polígonos de similar tamaño, para de esta forma conformar la base de cálculo, en donde se representó un valor de cada elemento (R, K, LS, C) para diferentes polígonos de igual centroide y dimensión, en la que luego de la aplicación de los productos de los polígonos se obtuvo el valor de la erosión.

La contextualización y aplicación del modelo de pérdida de suelo en la RFI representó la valoración ambiental de la erosión en la Reserva.

Luego de estimar las tasas de erosión de las diferentes subcuencas, se procedió a calcular el aporte de sedimentos en las confluencias de los ríos que componen las mismas a través de un coeficiente de entrega, esto incluyó a las subcuencas del río Coyuni y aquellas que drenan hacia el río Orinoco.

Siendo el bosque el principal protagonista, se formuló un conjunto de escenarios de cobertura que dio a conocer el comportamiento de la erosión para cada uno de estos contextos. A partir de allí se procedió a evaluar y valorar ambiental y económicamente situaciones actuales y futuras.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Las subcuencas aportantes a la RFI se dividen en dos: subcuencas de Cuyuní y las del Delta del Orinoco. En la primera están: Yurauri, Supamo, Yuruan, Alto Cuyuní, Venamo Cuyuní, Botanamo, Moracuani, Aguas Negras y Acarabisi. En la segunda: Casacoima a Santa Catalina, Río Grande, Aguirre y Coyubuni.

Las tasas de erosión de las dos subcuencas son 12,10 y 14,22 t/ha al año para Cuyuní y Delta, respectivamente. En la RFI la tasa de erosión es 14,68 t/ha al año. Todas se consideran tasas de erosión moderada.

Del conjunto de las trece subcuencas, seis de ellas presentan una tasa de erosión ligera o nula con valores entre 2,55 a 9,02 t/ha al año; para el resto, su clasificación es de erosión moderada con un mínimo de 11,04 hasta 30,44 t/ha al año, siendo el promedio total para las 13 subcuencas de 12,82 t/ha al año.

Las subcuencas seleccionadas para realizar la valoración económica fueron las del Delta pues tiene clase de erosión superior a la ligera, afectan al Canal del Orinoco y están completamente dentro de la RFI.

El valor actual del servicio ecosistémico control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina es 11,98 en USD/ha al año; para Aguirre, 4,92 USD/ha al año; para Río Grande, 10,52 USD/ha al año y para Cuyuní, 2,03 USD/ha al año.

Los valores se incrementarían enormemente si se quiere reemplazar una hectárea de la situación actual de bosque por una de cultivo de cobertura media. El cambio sería de 2 983,41; 1 001,02; 1 940,64 y 388,00 USD/ha al año, para las subcuencas Casacoima a Santa Catalina, Aguirre, Río Grande y Cyubuni, respectivamente.

Las recomendaciones del trabajo indican usar los valores estimados anteriormente como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos para el estudio. Así como, si se va a trabajar con una escala más detallada, realizar los estudios de campo respectivos para determinar a nivel de campo la pérdida de suelo por erosión, a través de unidades de investigación



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

En Venezuela, principalmente en las partes altas, el principal factor de degradación del suelo es la erosión hídrica. El daño generado por la erosión en zonas montañosas, de pendientes irregulares y escarpadas, así como en relieves irregulares se hace cada vez más evidente, debido a los fenómenos climáticos. El suelo es dañado y va perdiendo progresivamente su capacidad productiva; además de la erosión, el escurrimiento da lugar al arrastre de importantes cantidades de sedimentos aguas abajo que llegan en gran proporción a los cauces de los ríos, colmatándolos y reduciendo su capacidad de conducción y provocando inundaciones, limitando la navegación y generando problemas económicos, sociales y ambientales.

La cuantificación de la erosión es una cuestión clave para la inclusión efectiva de estos procesos ambientales en la planificación de un área. En general, los modelos utilizados para medir la erosión hídrica consideran los factores de precipitación (duración e intensidad), suelos (agregación, textura, capacidad de infiltración), vegetación (cobertura) y la topografía (pendiente y longitud). Estos factores pueden experimentar variaciones significativas en el espacio y el tiempo para cada caso.

Desde el punto de vista espacial, es importante tener en cuenta que la protección ofrecida por determinados cultivos o prácticas agrícolas no se pueden extrapolar a otras regiones con diferentes climas y suelos; además, dado que las causas y los efectos varían con el tiempo, es necesario realizar un análisis de las tendencias y las previsiones que permitan tomar decisiones sostenibles en el tiempo. Esto indica la importancia de instaurar un vínculo entre las tendencias de los cambios en los usos del suelo y los cambios en la erosión, con el fin de establecer posibles predicciones.

El servicio ecosistémico control de la erosión y sedimentación brindado por los bosques es uno de los más importantes.

Para conocer la importancia de la cobertura del bosque en el control de la erosión y sedimentación, se debe desarrollar un modelo, el cual toma como punto inicial una delimitación de todas aquellas subcuencas que influyen en una zona determinada, para luego establecer los cálculos posteriores en los procesos erosivos y de sedimentación de los cauces.

El cálculo de los procesos erosivos se determina a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, conocida como USLE por sus siglas en inglés, desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978.

Esta es una herramienta importante en el desarrollo de evaluaciones fiables en las predicciones de pérdida de suelo, así como para la planificación de las medidas de control del referido fenómeno. El uso de modelos basados en las teorías actuales del mecanismo de erosión requiere la obtención de información fundamental acerca de las relaciones entre la erosión y los sistemas de manejo de los cultivos y su cobertura.

Para la aplicación del modelo se determina cada uno de los parámetros que intervienen en el mismo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Con los resultados obtenidos del aporte de sedimentos, se puede calcular el valor del servicio ecosistémico usando una técnica basada en costo. La de costos evitados. Esta técnica asume que si se conserva la cobertura se reducen los costos de dragado de los cauces de los ríos.

Para aplicar la misma, se debe conocer la tasa de erosión y sedimentación de las diferentes subcuencas, así como, el aporte de sedimentos de estas a los cauces de agua y el costo de dragado del volumen aportante.

Las subcuencas aportantes a la RFI se dividen en dos: subcuencas de Coyuní y las del Delta del Orinoco. En la primera están: Yurauri, Supamo, Yuruan, Alto Coyuní, Venamo Coyuní, Botanamo, Moracuani, Aguas Negras y Acarabisi. En la segunda: Casacoima a Santa Catalina, Río Grande, Aguirre y Coyubuni.

Las tasas de erosión de las dos subcuencas son 12,10 y 14,22 t/ha al año para Coyuní y Delta, respectivamente. En la RFI la tasa de erosión es 14,68 t/ha al año. Todas se consideran tasas de erosión moderada.

Del conjunto de las trece subcuencas, seis presentan una tasa de erosión ligera o nula con valores entre 2,55 a 9,02 t/ha al año; del resto, su clasificación es de erosión moderadas con un mínimo de 11,04 hasta 30,44 t/ha al año, siendo el promedio total para las 13 subcuencas de 12,82 t/ha al año.

Las subcuencas seleccionadas para realizar la valoración económica fueron las del Delta pues tiene clase de erosión superior a la ligera, afectan al Canal del Orinoco y están completamente dentro de la RFI.

El valor actual del servicio ecosistémico control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina es 11,98 USD/ha al año; para Aguirre, 4,92 USD/ha al año; para Río Grande, 10,52 USD/ha al año y para Coyubuni, 2,03 USD/ha al año.

Los valores se incrementarían enormemente si se quiere reemplazar una hectárea de la situación actual de bosque por una de cultivo de cobertura media. El cambio sería, 2 983,41; 1 001,02; 1 940,64 y 388,00 USD/ha al año para las subcuencas Casacoima a Santa Catalina, Aguirre, Río Grande y Coyubuni, respectivamente.

Las recomendaciones del trabajo indican usar los valores estimados anteriormente como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos para el estudio. Así como, si se va a trabajar con una escala más detallada, realizar los estudios de campo respectivos para determinar a nivel de campo la pérdida de suelo por erosión, a través de unidades de investigación.

Para obtener los resultados anteriores, el capítulo se inicia con la presente introducción, continua con el marco teórico, sigue con la metodología, prosigue con las limitaciones, presenta los hallazgos y resultados, plantea las conclusiones y recomendaciones y finaliza con la bibliografía.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2. Marco Teórico

2.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, USLE, fue desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978, como una metodología para la estimación de la erosión laminar en una determinada área. Luego de varias modificaciones la ecuación se presenta como una metodología de gran utilidad en la planificación de obras de conservación de suelos y manejo de cuencas.

Se ha considerado que la USLE, hasta el momento, representa la metodología más idónea para el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas; por ello, se ha utilizado esta metodología como una guía para la evaluación de acciones en manejo de cuencas, en especial aquellas que conllevan a un cambio del uso de la tierra y manejo de suelos.

De acuerdo con la USLE, la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica, **A**, es una función de: el poder erosivo de la lluvia, **R**; la erodabilidad de los suelos, **K**; la cobertura vegetal, **C**; la práctica conservacionista, **P** y el factor combinado de la pendiente y la longitud de esta, **LS**; todos estos factores conforman la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, USLE, la cual se expresa como:

$$A = R * K * LS * C * P$$

(Ecuación 11.1)

De esos factores, **R** no puede ser modificado, **K** depende fuertemente de la textura de los suelos, la cual no puede ser fácilmente mejorada, de esa manera, sólo **C**, **P**, y **LS** pueden ser cambiados.

Las prácticas agronómicas comunes, pueden utilizarse para modificar la cobertura vegetal, y consecuentemente **C**, mediante manejo de desechos y mejoramiento de los sistemas de siembra.

El factor **P** puede ser cambiado por prácticas agronómicas, como las barreras vegetativas, o con obras de conservación de suelos como terrazas, zanjas o acequias de ladera. La modificación del factor **P** está íntimamente ligado a la reducción de la longitud de pendiente, **L**. Por último, la pendiente, **S**, sólo puede ser modificada mediante obras de conformación del terreno, tales como terrazas.

Según el modelo de Meyer y Wischmeier (1969) citado por Zambrano (2015), los procesos considerados, al analizar la erosión hídrica del suelo son desprendimiento, transporte y sedimentación, el desprendimiento es el proceso de erosión del suelo y puede ser causado por el impacto de las gotas de lluvia o por la fuerza del flujo.

Una vez, el suelo es erosionado, debe ser transportado por el flujo del agua desde el lugar donde se produce hasta el punto donde será depositado, este transporte está condicionado por uno de estos dos controles: a) La capacidad de transporte de la corriente, o b) La disponibilidad de material en la cuenca.

En la Figura 11.1 se representa la relación entre los procesos de desprendimiento, transporte y sedimentación y se repite hasta que se termina el desprendimiento en la parte alta de la cuenca.

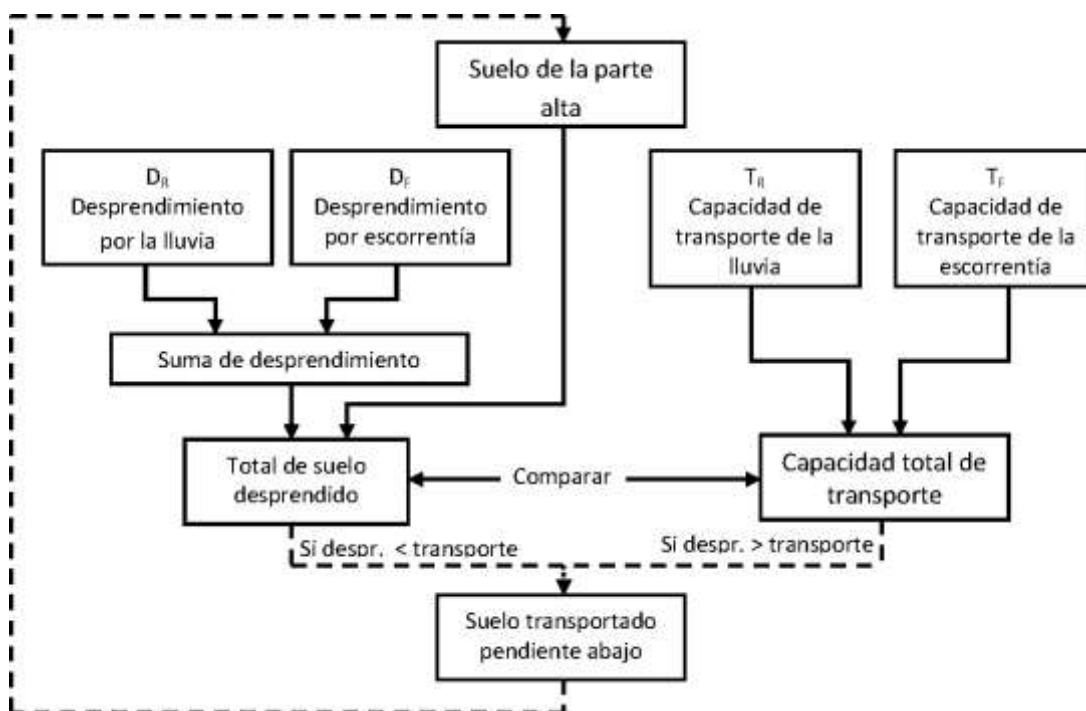


Figura 11.1. Relación entre los procesos de desprendimiento, transporte y sedimentación de los sedimentos.

Fuente: Meyer y Wischmeier (1969)

2.2. Tipos de erosión según la zona donde se produce

Zambrano (2015) en su trabajo sobre *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento, mediante un modelo de base física basado en SIG* señala que los procesos sedimentológicos que son modelados en cuencas dependen del área y la escala temporal a considerar, y se diferencian básicamente por los mecanismos que ocasionan el desprendimiento y arranque de las partículas y posteriormente su transporte y sedimentación. De esta forma, las fuentes de sedimentos más amplias que se pueden considerar son: erosión en la cuenca alta, erosión en cárcavas y erosión local en las márgenes

La erosión en la parte alta, se presenta de tal manera que, si existe flujo superficial, la topografía hace que el agua escurra generando pequeños surcos, que son canales que pueden ser fácilmente borrados. De esa manera se tendrán dos zonas de erosión: zonas entresurcos, donde la erosión será causada por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo y zonas de surcos donde la erosión es causada por el flujo.

La erosión en la zona entresurcos ocurre donde el flujo es superficial y poco profundo, es decir, donde se presenta flujo como una lámina de agua de pequeño espesor, en dichas zonas, el desprendimiento ocurre básicamente debido al impacto de la gota de lluvia. Por otro lado, la erosión en los surcos ocurre cuando el flujo está concentrado en senderos a nivel de micro-topografía y estos tienen suficiente profundidad y pendiente como para generar pequeños canales. Si el flujo de agua es persistente y con alta energía erosiva, el agua tenderá a concentrarse formando surcos más profundos denominados cárcavas y en dichas áreas el proceso erosivo estará controlado por el macro-relieve.

Según Montoya (2008) citado por Zambrano (2015), este tipo de erosión no se produce debido a un solo evento de precipitación, sino debido a varios eventos, lo que quiere decir que se produce en el mediano plazo.

El desprendimiento del suelo en los canales generados por el macro-relieve es ocasionado básicamente por los esfuerzos cortantes del flujo canalizado y por la falla de los taludes.

La erosión causada en las laderas tiende a depositarse en los cauces a mediano y largo plazo, pero en éstos también se puede producir por erosión tanto en márgenes como en el lecho (*erosión por flujo*). En la figura 11.2, se ilustra los tipos de erosión según la escala de tiempo.

2.3. Producción de sedimentos

La producción de sedimentos (PS) es la suma total de todos los materiales sólidos (cantos, grava, arena, limo, y arcilla), erosionados y removidos de la cuenca que genera los sedimentos, la producción de sedimentos para este estudio estará relacionada exclusivamente a la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Todos los sedimentos son: (a) producidos, (b) transportados, y (c) depositados en los valles y depresiones o en su defecto, entregados al océano o cuerpos de agua más cercano.

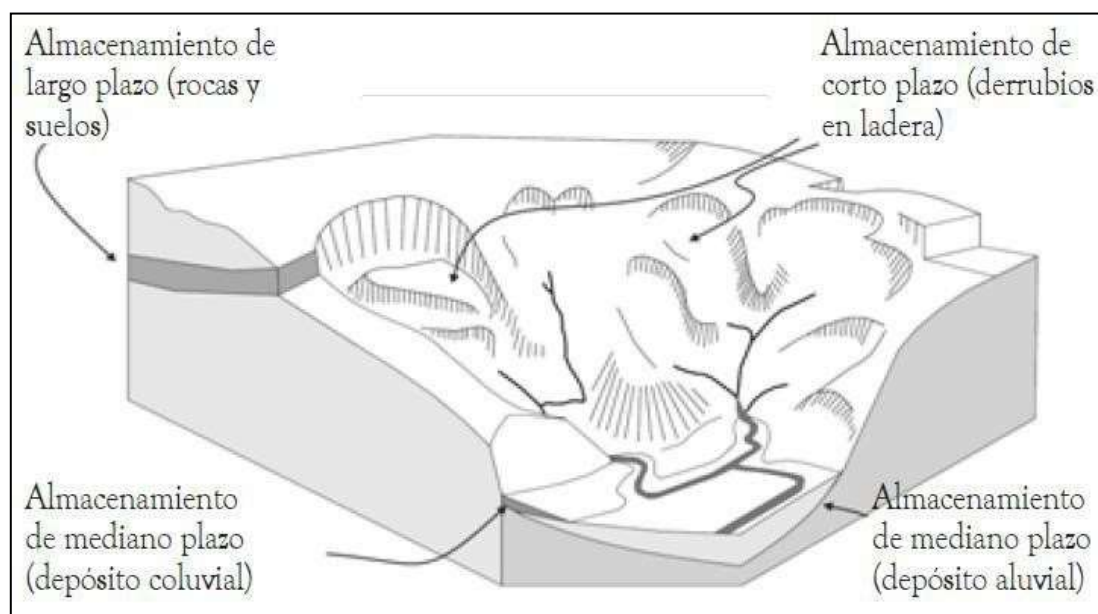


Figura 11.2. Tipos de erosión según la escala de tiempo.

Fuente: Montoya (2008)

2.4. Técnica de costos evitados

Este método corresponde a los costos que se realizan para prevenir un costo que se produzca debido a cualquier efecto que se pueda causar sobre un SE.

En sí mismos, este método no valora al SE directamente, sino al costo de evitar el impacto o daño que pueda ser causado por intervenciones humanas o naturales sobre el SE. Por ejemplo, evitar el costo de dragado de un río debido al daño de un bosque que incrementa la deforestación y la erosión.

La premisa fundamental para aplicar este método es que los agentes económicos están dispuestos a realizar los gastos para prevenir el impacto sobre el SE.

En términos generales los costos son:

- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento
- Costos administrativos

Los costos de inversión corresponden a los gastos en materiales, equipos, mano de obras y otros insumos, entre otras, para construir o adquirir la medida de prevención. Los costos de operación y mantenimiento son para garantizar el funcionamiento de la medida. Por su parte, los gastos administrativos se refieren a los gastos asociados a los procesos administrativos de los dos costos anteriores.

El indicador económico usado para valorar los costos es el valor presente de los costos o valor actual de los costos, VPC ó VAC.

La ecuación general utilizada es:

$$VPC = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{1+i^t} + I_0 \quad (\text{Ecuación 11.2})$$

Donde:

t son cada uno de los años de la medida;

n la vida útil en años de esta;

Ct los costos en cada uno de los años;

i la tasa de descuento o actualización para traer valores futuros al presente, generalmente 12% en Venezuela y,

I₀ si se realizan una inversión en el año 0.

En caso de que quiera presentar el VPC por años se usa el Costo Anual Equivalente, CAE; así, las ecuaciones a utilizar son:

$$CAE = VPC * FRC \quad (\text{Ecuación 11.3})$$

Donde FRC es el Factor de Recuperación de Capital, reseñado como:

$$RC = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1+r}{1+r^i} x_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1+r}{1+r^i} - 1}$$

(Ecuación 11.4)

Donde

N es el número de años para lo cual se va a calcular el CAE, generalmente se toma como n;

r corresponde a la tasa que se quiere usar para el cálculo de CAE, generalmente se toma como i.

Por otro lado, si se multiplica la cantidad de sedimentos entregados a un curso de agua anualmente por el valor del dragado en dólares por metros cúbicos se obtiene el costo de dragar anual un cauce. La ecuación 11.5 presenta ese cálculo.

$$CDA = \text{Volumen a dragar anual} * \text{Costo del volumen}$$

(Ecuación 11.5)

Donde:

CDA es el costo anual del dragado de un cauce.

Si se divide dicho costo entre la superficie de la cuenca productora de sedimentos, se obtiene el CDA por superficie (ecuación 11.6).

$$\frac{CDA}{\text{superficie}} = \frac{CDA}{\text{Superficie de la cuenca productora de sedimentos}}$$

(Ecuación 11.6)

4. Metodología

La Figura 11.3 muestra la metodología empleada para determinar la valoración económica del servicio ecosistémico de control de la erosión y sedimentación en la RFI.

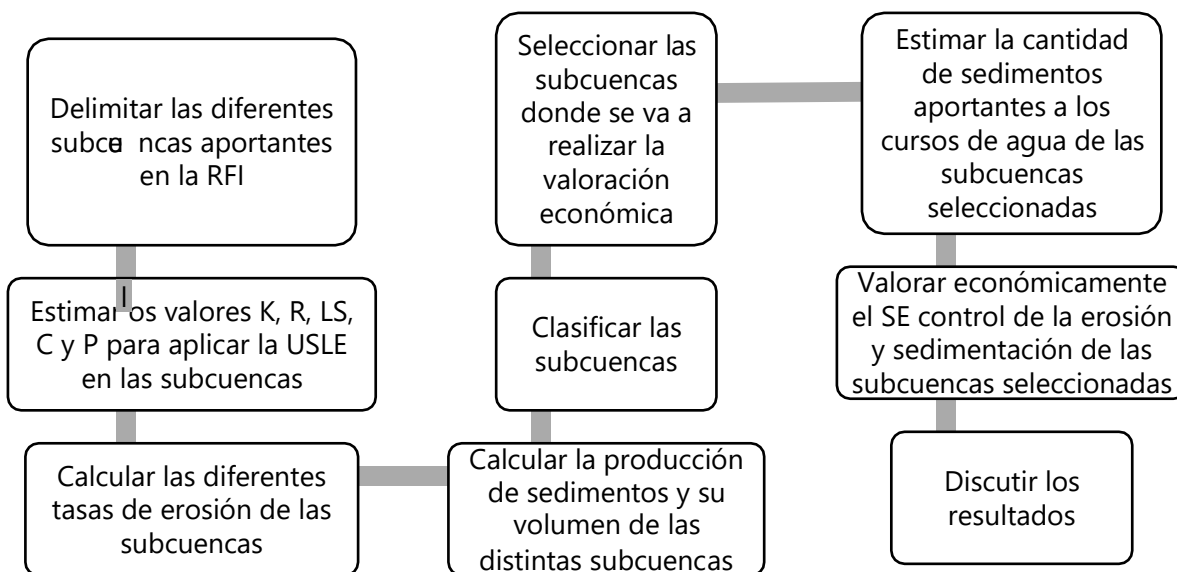


Figura 11.3. Metodología de valoración económica del SE control de la erosión y sedimentación de la RFI.

4.1. Identificación y delimitación de las subcuencas aportante en la RFI

En la determinación de las pérdidas de suelo en función de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se eligió la **cuenca** como unidad espacial. Para este trabajo se utilizó la delimitación de subcuencas realizada por la Consultoría que elaboró el *Inventario de los Recursos Hidráulicos en la RFI*, complementado con las actividades desarrollada por el equipo encargado de los Sistemas de Información Geográfica (SIG.), quienes se apoyaron en imágenes satelitales e información cartográfica y temática, esta última elaborada en su momento por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) a través de Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA).

Dado que el Servicio Ecosistémico a considerar es la erosión hídrica, ésta se calculó en las diferentes subcuencas que influyen a la RFI.

3.2 Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas

La evaluación de la erosión actual se realizó con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978, estimándose la pérdida de suelo para un promedio anual.

Esta ecuación representa el modelo de cálculo de la pérdida de suelo en las Reserva Forestal Imataca (RFI), así como las subcuencas que forman parte de ella y que tienen una influencia inmediata sobre la misma, debido fundamentalmente que el arrastre de sedimentos afecta directamente a la red fluvial de la reserva.

Dado que la ecuación a usar es la USLE, se determinaron los valores de K, R, LS, C y P para las diferentes subcuencas.

Tomando en cuenta que el valor P se mantendrá constante para las diferentes subcuencas, los valores K, R, LS y C serán los presentados.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los datos necesarios fueron asociados a mapas de polígonos previamente elaborados para cada factor. Todos los datos fueron incorporados (uno a uno) a los polígonos diferenciados en varias mallas que asocian cada polígono con su respectivo valor para de esta forma construir el conjunto de mapas.

3.2.1. Generación de las diferentes mallas

Se generó un conjunto de mallas (GRD) para un sistema de coordenadas con las siguientes especificaciones:

X: Longitud

Y: Latitud

Z: Valor del parámetro o atributo, que son los factores R, K, LS y C

Se elaboró una cuadrícula de coordenadas geográficas, partiendo desde los 5,6° hasta los 8,7° de latitud norte y desde los 62,9° a los 59,5° de longitud oeste, con una separación de 0,02° entre divisiones, conformando un total de 26 676 nodos. Esta actividad se cumplió a través de un modelaje que incluyó métodos de interpolación.

Es importante señalar que cada punto de coordenadas geográfica (X, Y) contiene como atributo Z, que es valor de cada factor de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE).

3.2.3. Blanqueo de las mallas

La razón fundamental de esta actividad, fue el hecho de poder generar toda la información necesaria, georreferenciándola sólo a la zona correspondiente a las trece subcuencas y a la Reserva Forestal Imataca.

Luego de aplicar el blanqueo, se obtuvo un total de 12 577 pares de coordenadas o nodos con su respectivo valor.

Esta acción se realizó al igual que en el punto anterior para cada factor y bajo las actuales condiciones físico naturales.

3.2.4. Erosividad de la lluvia o Factor R

El Factor R, llamado Factor de la Precipitación, se calculó mediante la ecuación desarrollada por Páez *et al.* (1989) y citada por Rodríguez (2018), para el bosque tropical, característico de la Reserva Forestal Imataca (RFI). A continuación, se presenta la ecuación.

$$R = \frac{12}{1} [-190,5 + 8,8 * \sqrt{Pm}]$$

(Ecuación 11.7)

Donde:

R: Es el índice de erosividad de la precipitación en Mj mm / ha-h

Pm: Precipitación media mensual en mm.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



La información pluviométrica y geoestadística para este análisis fue la generada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), en su trabajo titulado *Escenarios Climáticos, que* forma parte de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático de la República Bolivariana de Venezuela (2017).

El período de registro pseudohistórico es el comprendido entre los años 1971-2000 considerando el promedio anual para cada coordenada en cada subcuenca y para la RFI.

Para este caso se integró en una sola base de datos la información de lluvia calculada por los modelos *HADGEM2 (Inglaterra)* y *el MIROC5 (Japón)*, presentados por el INAMEH adecuándolos a los valores históricos de precipitación del área a través de la afectación por un coeficiente de corrección de 0,91, que permitió reflejar una información más fidedigna en comparación con los valores históricos que se tienen para el área.

3.2.5. Erosionabilidad del suelo o Factor K

Indica la erodabilidad del suelo o susceptibilidad a la erosión hídrica del suelo. La variable K se obtiene a partir de mapas geológicos y de suelos.

La información del parámetro K fue obtenido a partir de la base de datos para América Latina y el Caribe del Banco Interamericano de Desarrollo, (Rineer, J., Bruhn, M., Miralles-Wilhelm, F., y Muños-Castillo, R., 2014), para cada unidad edafológica identificada dentro de los subcuencas y valores estimados por tipo de suelo.

La información del Factor K se relaciona con los datos edafotécnicos de las unidades litológicas, fisiográficas y cartográficas en las mismas. Las unidades en la que se expresa el Factor K son T/ha /Mj mm /ha-h

Al igual que el Factor R los datos se modelaron para la misma cantidad de nodos de manera coincidente.

3.2.6. Factor Topográfico LS

La USLE tiene en cuenta la topografía del terreno mediante la introducción de los factores L y S, longitud de la pendiente del terreno y el grado de inclinación de esta. La estimación de los componentes del factor LS usualmente se realiza a través del modelo digital del terreno MDT o DEM (Digital Elevation Model) en donde mediante el mapa de pendiente y el análisis de lo pixeles se obtiene los parámetros L y S, con apoyo de los Sistema de Información Geográfica (SIG).

Finalmente, para calcular el factor combinado LS se multiplica cada factor L y S utilizando la función de algebra de mapas.

La información del factor LS fue obtenido al igual que el factor K de la base de datos proveniente modelo HydroBID reseñado anteriormente

3.2.7. Factor de cobertura C

El Factor C es el correspondiente a la cobertura vegetal y representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos; es decir, que si el suelo permanece desnudo durante la época de lluvias la capacidad de desprendimiento y arrastre del material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Dentro de la USLE el parámetro C representa un factor de reducción de erosión y es adimensional.

Debido a que en el área se presenta una baja intensidad de uso agrícola, la determinación del Factor C se realizó con base a imágenes satelitales sobre la totalidad de la reserva y sus cuencas de influencia, mediante un análisis de las áreas basales de vegetación forestal y otros usos de suelo. Esta información se obtuvo de la base de datos del BID como en los casos K y LS señalados anteriormente.

3.2.8. Factor de prácticas de conservación P

El factor de práctica conservacionista, P, refleja el efecto de las prácticas de conservación de suelos que tienden a modificar la topografía, tales como: terrazas, cultivos en franjas y curvas de nivel. Al no existir obras de protección dentro del área en estudio, además que las prácticas agrícolas conservacionistas son mínimas y no tienen influencia en la reducción de la producción de sedimentos, se asumió un valor de 1.

Todos los factores fueron analizados y adecuados como insumos necesarios y suficientes en la aplicación del modelo señalado.

3.3. Cálculo las diferentes tasas de erosión de las subcuencas

La evaluación de la erosión actual se realizó con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), para un promedio anual. Este instrumento se presenta como una metodología de gran utilidad en la planificación de obras de conservación de suelos y manejo de cuencas. La aplicación del método se hará de acuerdo con el esquema de la figura 11.4.

La asociación espacial en polígonos a cuyo centroide está referida la información de cada factor y que representa a todo el polígono, permitió el cálculo de la erosión para cada una de estas unidades, los valores estimados son representados en t/ha al año sobre cada polígono del elemento geográfico seleccionado (Cuenca), además se realizó el cálculo de la erosión para la Reserva Forestal Imataca (RFI), bajo la consideración que la RFI al ser un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), sus límites no necesariamente son los límites de las subcuencas que la conforman ya que siguen otros criterios de delimitación de acuerdo al decreto de creación de la misma, pero al haber estructurado la forma de cálculo por polígonos dentro de las unidades se posibilitaron las estimaciones.

El modelo de cálculo de la pérdida de suelo en las Reserva Forestal Imataca (RFI), así como las subcuencas que forman parte de ella y las que tiene una influencia inmediata sobre la reserva, se expresa a continuación:

$$A = R * K * L * S * C$$

(Ecuación 11.8)

Donde:

A Pérdida de suelo por unidad de superficie (t/ha.año)

R Factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha*h)

K Factor erodabilidad del suelo (t.ha.h/ha.MJ.mm)

L Factor longitud de pendiente (adimensional)

S Pendiente (adimensional)

C Factor de cobertura y/u ordenación

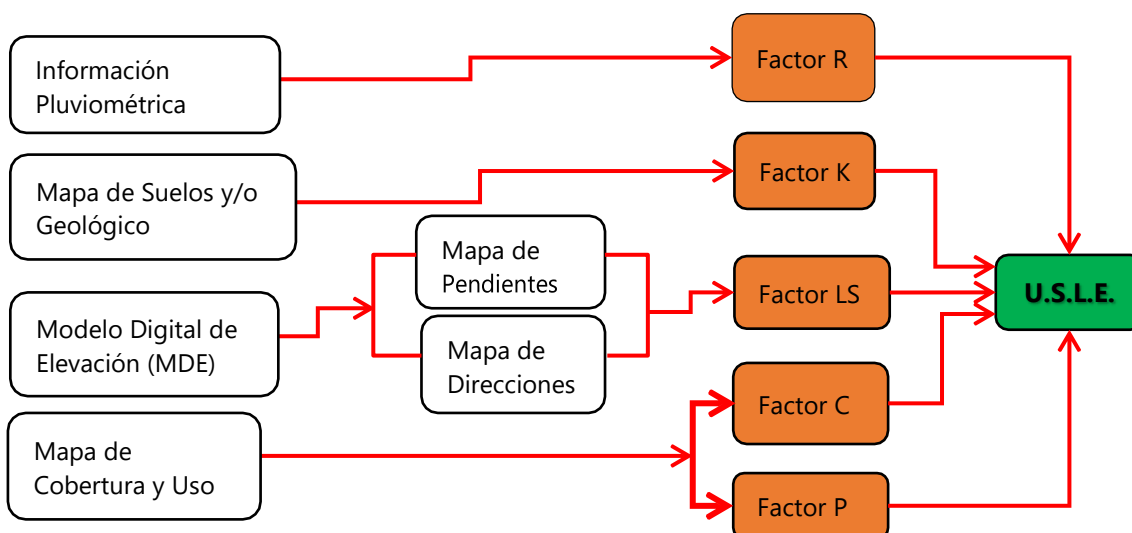


Figura 11.4. Modelo conceptual para la estimación de los niveles de pérdida de suelo

3.4. Clasificación las diferentes subcuencas

Las subcuencas se clasificaron tanto, según el lugar donde descargan sus aguas, como por sus tasas de erosión, usando los criterios de FAO-PNUMA-UNESCO, Tabla 11.1.

Tabla 11.1. Clasificación de las subcuencas de acuerdo con su tasa de erosión

Pérdida de suelo, t/ha/año	Clases de erosión
Menor de 10	Nula a ligera
10 a 50	Moderada
50 a 200	Alta
Mayor de 200	Muy alta

Fuente: FAO – PNUMA – UNESCO.

3.5. Cálculo la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas

La producción de sedimentos (PS) es la suma total de todos los materiales sólidos (cantos, grava, arena, limo, y arcilla), erosionados y removidos de la cuenca. La producción de sedimentos para este estudio estará relacionada exclusivamente a la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Todos los sedimentos son: (a) producidos, (b) transportados, y (c) depositados en los valles y depresiones o en su defecto, entregados al océano o cuerpos de agua más cercano.



La producción de sedimentos (PS) será siempre referenciada al **área de la cuenca**, y su correspondiente rendimiento, el cual se mide en toneladas por hectárea. Para este estudio las estimaciones son a nivel anual.

Con base a las tasas de erosión calculada mediante la ecuación 11.8 y a la superficie de las unidades geográficas, se estimó la producción de sedimento usando la ecuación 11.9 para las diferentes subcuencas, donde:

$$PS = A * S$$

(Ecuación 11.9)

Donde:

PS: Producción de sedimento en t/año,

A: Tasa de pérdida de suelo por unidad de superficie en t/ha*año,

S: Superficie de la subcuenca en ha.

En cuanto al volumen de sedimento, éste fue calculado utilizando un valor de la densidad de sedimento (ρ) de 1,3 t/m³ lo que permitió obtener las cantidades en m³ u otro equivalente.

3.6 Selección las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica

Para seleccionar las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica se usaron los siguientes criterios:

- Que tengan una clase de erosión superior a ligera
- Que afecten alguna infraestructura y por lo tanto sea probable que exista disposición a pagar para evitar los posibles daños.
- Que estén completamente dentro de la RFI.

3.7 Estimación de la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas

Se calculó la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas. Primero se determinaron los puntos de interés donde los sedimentos descargan, para luego calcular la cantidad de sedimentos que son descargados.

La cantidad de sedimentos que son descargados no son todos los producidos por las subcuencas, solamente una fracción de estos es la que llega a las desembocaduras de las cuencas o algún punto específico de interés como los cuerpos de agua.

La ecuación que se usó para calcular la cantidad de sedimentos descargados en un punto de interés fue:

$$AS = PS * CES$$

(Ecuación 11.10)

Donde:

AS: Aporte de sedimentos en un punto de interés en t ó m³/año

PS: Producción de sedimento de la cuenca en t ó m³/año

CES: Coeficiente de entrega de sedimentos (adimensional)

El Coeficiente de Entrega de Sedimentos, CES, corresponde a un índice que permite calcular el aporte de sedimento en un determinado punto, y depende de múltiples elementos como tamaño de la cuenca, forma, pendiente de la misma, así como la conformación del patrón de drenaje y la capacidad de transporte de los sedimentos, a través de sus mecanismos de acción, entre otros.

Debido a la falta de información de las subcuencas seleccionadas y su magnitud, así como el nivel del estudio planteado, el Coeficiente de Entrega de Sedimento se estimó sólo con el área de la unidad hidrográfica, con base en el estudio de un conjunto de cuencas hidrográficas con diversas características en EE. UU. y presentada por Wischmeier y Smith (1978).

El CES es una relación entre los sedimentos entregados y los sedimentos producidos (CES es siempre menor que 1, o en porcentaje, menor que 100). El valor de CES es una función del área de la cuenca, medida hasta el punto de entrega.

En la Figura 11.5 presentada por Wischmeier y Smith (1978) y citada por Olmos, Spalletti y otros (2008) en su artículo *Verificación de Modelos de Producción de Sedimentos en Cuencas del N.O. Argentino*, se observa el valor promedio de CES o Factor de Entrega.

Este varía desde 70% para cuencas muy pequeñas (menores de 0,04 millas cuadradas, o 0,1 km²), a 7% para cuencas grandes (mayores de 400 millas cuadradas, o 1 000 km²).

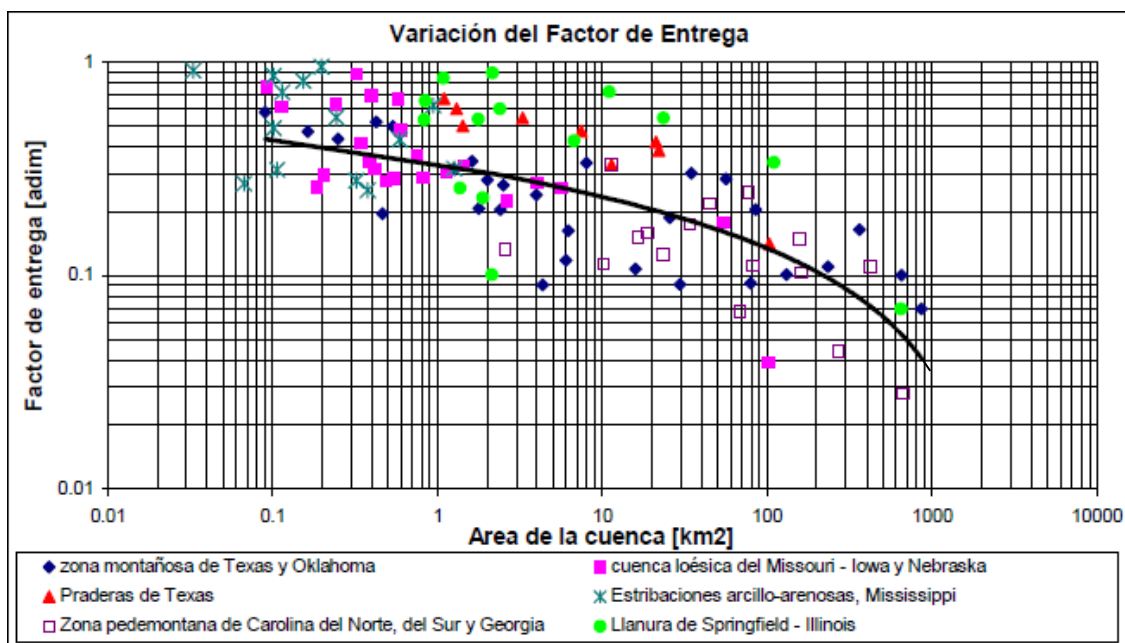


Figura 11.5. Variación del Coeficiente de Entrega de Sedimentos en función del área de la cuenca. Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

En vista que las superficies de las subcuencas seleccionadas son mayores a las estipuladas en la figura anterior, fue necesario elaborar una curva y determinar una ecuación. Esto permitió estimar el Coeficiente de Entrega de Sedimentos (CES) y extrapolar para superficies mayores. La Figura 11.6 presenta la curva mencionada anteriormente.

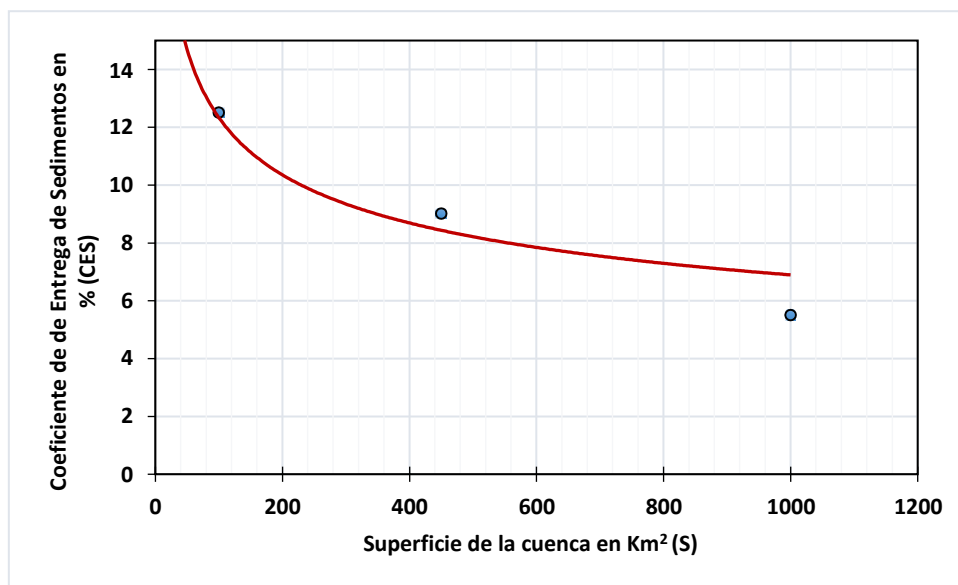


Figura 11.6. Curva sobre la variación de CES en función del área en la que se señala la línea de tendencia.

Fuente: Cálculos Propios

Con base en la curva de la Figura 11.6, se determinó la siguiente ecuación para el cálculo del Coeficiente de Entrega de Sedimento con un factor de correlación (R^2) de 0,9657.

$$\text{CES} = 39,522 * S^{-0,253}$$

(Ecuación 11.11)

Donde:

CES: Coeficiente de entrega de sedimentos (%)

S: Superficie de la cuenca en Km²

3.9 Valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas

Para valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas, se expuso la siguiente hipótesis: El valor del SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas es igual al costo de evitar el dragado del Canal del Orinoco debido al cambio de uso de la tierra en las subcuencas seleccionadas. Dicha hipótesis es verdadera si se cumplen los siguientes supuestos:

- El punto de entrega de sedimentos a los cursos de agua es el correcto.
- El aporte de sedimentos es el correcto para los diferentes escenarios con diferente valor



del Factor C (cobertura) de cambio de uso de la tierra en las subcuencas seleccionadas.

- El valor de dragado seleccionado es el correcto.

La ecuación para utilizar para calcular el costo del dragado es:

$$CD = AS * CPD$$

(Ecuación 11.12)

Donde

CD: representa el costo de dragado en USD/año, para cada punto de interés del aporte de sedimento de cada subcuenca al Canal del Orinoco, para un determinado escenario.

AS: representa el aporte de sedimento en $m^3/año$, para un determinado escenario, en cada punto de interés de las subcuencas seleccionadas en el Canal del Orinoco.

CPD: es el costo promedio de dragado en USD/ m^3 (obtenido de la literatura revisada) para cada escenario.

Luego de obtener CD para cada escenario, en cada cuenca seleccionada, se puede restar el CD obtenido para el bosque de cada uno de los CD proveniente de cambios de uso de la tierra previsto en los escenarios, en cada subcuenca seleccionada. Dicha diferencia representa el costo de transformar una hectárea de bosque primario a un uso contemplado en los escenarios previstos.

A continuación, se presentan los escenarios planteados y el valor del costo del dragado a utilizar.

3.8.1. Escenarios planteados

Los escenarios se limitan al hipotético cambio o sustitución de los valores de cobertura vegetal, solo a lo que respecta al bosque primario, asumiendo para ello situaciones que por la tendencia en la Reserva se podrían presentar:

- **Escenario C1:** Situación actual, sin cambio entre los valores de cobertura actuales del bosque primario, en este escenario se deja intacto la actual cobertura del bosque húmedo tropical el cual posee un Factor C igual a 0,002.
- **Escenario C2:** Sustitución del bosque húmedo tropical o primario por un bosque bajo, por ejemplo, matorrales leñosos de porte medio y bosque secundario, de un $C = 0,002$ a un $C = 0,007$.
- **Escenario C3:** Sustitución del bosque primario por una cobertura de sabana, constituida principalmente por pasto natural de porte bajo sin o con poco pastoreo, de un $C = 0,002$ a un $C = 0,01$.
- **Escenario C4:** Sustitución del bosque primario por vegetación escasa constituida por una vegetación natural de bajo porte la cual está relacionada con matorrales bajos de un $C = 0,002$ a un $C = 0,012$.

- **Escenario C5:** Sustitución del bosque húmedo tropical por pastizales para el aprovechamiento ganadero, cultivado con manejo agronómico intermedio, de un C= 0,002 a un C = 0,02.
- **Escenario C6:** Sustitución del bosque primario por cultivos limpios de cobertura media por ejemplo maíz, sorgo, oleaginosa como ajonjolí o girasol, está relacionada con una cobertura del suelo de 50%, el cambio será de un C= 0,002 a un C=0,5.

3.8.2. Valor del costo de dragado a utilizar

El costo de dragado se determinó de varias fuentes. La Tabla 11.2 presenta diversos costos de dragado presentado por diversas fuentes.

Tabla 11.2. *Costos de dragado de diversas fuentes.*

COSTOS DE DRAGADO USD/m ³		
Fuente	Costo en USD	Año
Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). Artículo de Prensa Digital. www.unoentrerios.com.ar . Argentina, 14 de diciembre de 2017.	6,25	2017
Prefectura del Guayas, Ecuador. Artículo de Prensa Digital. www.wordpress.com . 10 de noviembre de 2016	14,22	2016
Consortio Portuario Regional del río del Plata. Artículo de Prensa Digital. www.pescare.com.ar . Argentina. 27 de julio de 2017	4,87	2017
Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena). Artículo de Prensa. Diario del Cesar. Colombia. 11 de abril de 2019	5,18	2019
Prefectura del Guayas, Guayaquil, Ecuador. Artículo de Prensa Digital. www.eluniverso.com	12,46	2018
Gobierno de Cantabria. Consejería de Obras Públicas y Viviendas, Dragado y Mantenimiento de Puertos de Cantabria (2020-2024). Participación Pública.	7,69	2018
Núñez, E. y Shirota R. S/F. Valoración económica del servicio ambiental de reducción de sedimentos de los bosques de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. Panamá.	13,78	sf
Valor Promedio	9,21 USD	

3.9. Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en cada paso de la metodología se discutirán con la presentación de éstos.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Limitaciones

4.1. En cuanto al modelo USLE

- Una de las principales limitaciones surge del hecho de la falta de información. La zona donde se ubica la RFI y sus áreas de influencia carecen de registros climáticos y edafológicos suficientes, esto amerita la obtención de esta información mediante métodos indirectos, con el riesgo de las inevitables imprecisiones. El tamaño del área de estudio de 61 393,12 Km² de las 13 subcuencas en la que está incluida la Reserva Forestal Imataca, con casi 38 700 Km², constituye sin duda un limitante por los extenso de la misma.
- Refleja valores anuales promedio y no el de tormentas individuales o de años particulares.
- La información necesaria para el cálculo del R no está disponible para la mayoría de los casos. La información publicada más detallada es a escala diaria. Sin embargo, desde hace muchos años, el Ministerio del Ambiente ha dejado de publicar los datos y la obtención de esta es muy problemática. Por esas razones, muchos investigadores se han preocupado por obtener metodologías sencillas para estimar el valor de R, ya sea a escala anual o mensual.
- El factor R, como se expresó anteriormente, representa la sumatoria de los valores de erosividad, representados por el factor, el cual es una función de la intensidad y volumen de la lluvia para un determinado evento; es lógico suponer, que tanto el detalle como la calidad de la información son determinantes en cuanto a la fidelidad de la determinación de R.
- En cuanto a la determinación del factor K dependerá de la información de suelo disponible, tanto en detalle como en representatividad. Por lo que la carencia de información detallada constituye una limitante es su estimación
- El Factor topográfico (LS) presenta limitaciones de orden práctico ya que la longitud de la pendiente, representa la longitud de recorrido del escurrimiento superficial hasta que éste es interrumpido o desviado por obstáculos en el terreno, tales como: cercas, zanjas, cambios de pendiente, terrazas, barreras, etc. La determinación de L, para condiciones naturales, es muy difícil, necesitándose de una topografía muy detallada para realizarlo. Se pueden realizar aproximaciones utilizando fotografías aéreas, así como modelos digitales del terreno (MDT) o analizando la red de drenaje de la cuenca
- La pendiente, S, introduce otro elemento de incertidumbre cuando se trata de grandes áreas; de igual manera, hay que utilizar valores promedio, los cuales no necesariamente se comparan con los valores promedio de L. La ecuación inicial para calcular LS, fue desarrollada con pocos valores de pendientes superiores al 9%; esto implica que para valores superiores a 9%, el método puede sobreestimar los valores de LS.
- En cuanto a los factores C y P, resulta difícil su obtención precisa, fundamentada en la gran extensión de la Reserva, aun cuando se han realizado innumerables trabajos sobre el tema siempre presenta un grado de incertidumbre, que depende de la experiencia del encargado del análisis de las imágenes y su correcta interpretación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- No considera las interrelaciones entre sus factores en forma explícita, ya que es de origen empírico y, en consecuencia, no explica los procesos físicos que ocurren entre los factores de la erosión.
- Además de todas estas consideraciones, es difícil su corroboración en campo debido a la poca accesibilidad de la zona, por problemas de transporte tanto terrestre como aéreo, y a una de las causas más importante como lo es la inseguridad.

4.2. En cuanto al Aporte de Sedimento a los cursos de agua

La principal limitante al aporte de sedimento es no contar con mediciones en los puntos de interés y la falta de información sobre las subcuencas. Esto imposibilitó que el coeficiente de entrega utilizado se correlacione con parámetros como tamaño de la cuenca, forma, pendiente de la misma, así como la conformación del patrón de drenaje y la capacidad de transporte de los sedimentos a través de sus mecanismos de acción, entre otros,

Debido a lo anteriormente expuesto, el Coeficiente de Entrega de Sedimento se estimó sólo con el área de la unidad hidrográfica.

Asimismo, el hecho de que el tamaño de las mayorías de las subcuencas excedía la superficie de las cuencas empleadas en la obtención de la curva que relaciona área con coeficiente de entrega, por lo que la ecuación a utilizar para extrapolar agrega otro grado de incertidumbre.

4.3 En cuanto a la valoración económica de SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas

Finalmente, otra limitante o dificultad encontrada es la relacionada con los costos de dragado para valorar económicamente los Servicios Ecosistémicos, ya que hay muy poca información en el país sobre esta actividad, recurriéndose a información secundaria de trabajos similares en países de Latinoamérica y España, por lo que los cálculos pudieran presentar algún grado de imprecisión.

5. Hallazgos y Resultados

A continuación, se exponen los hallazgos, resultados y su discusión para cada paso de la metodología presentada.

5.1. Delimitación de las diferentes subcuencas aportantes en la RFI.

La Tabla 11.3 y la Figura 11.7 muestran las diferentes subcuencas aportantes en la RFI. Se resalta que la suma total de las superficies es superior al de la RFI debido a que varias subcuencas salen del área de la Reserva.

Tabla 11.3. Subcuencas aportantes en la RFI.

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje, Km ²
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00
	2- Supamo	4 666,12
	3- Yuruan	21 029,81
	4- Alto Coyuni	4 888,44
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16
	6- Botanamo	6 638,46
	7- Moracuani	729,96
	8- Aguas Negras	365,69
	9- Acarabisi	244,56
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05
	11- Rio Grande	3 215,81
	12- Aguirre	4 485,74
	13- Coyubuni	11 374,36
TOTAL		61 393,12

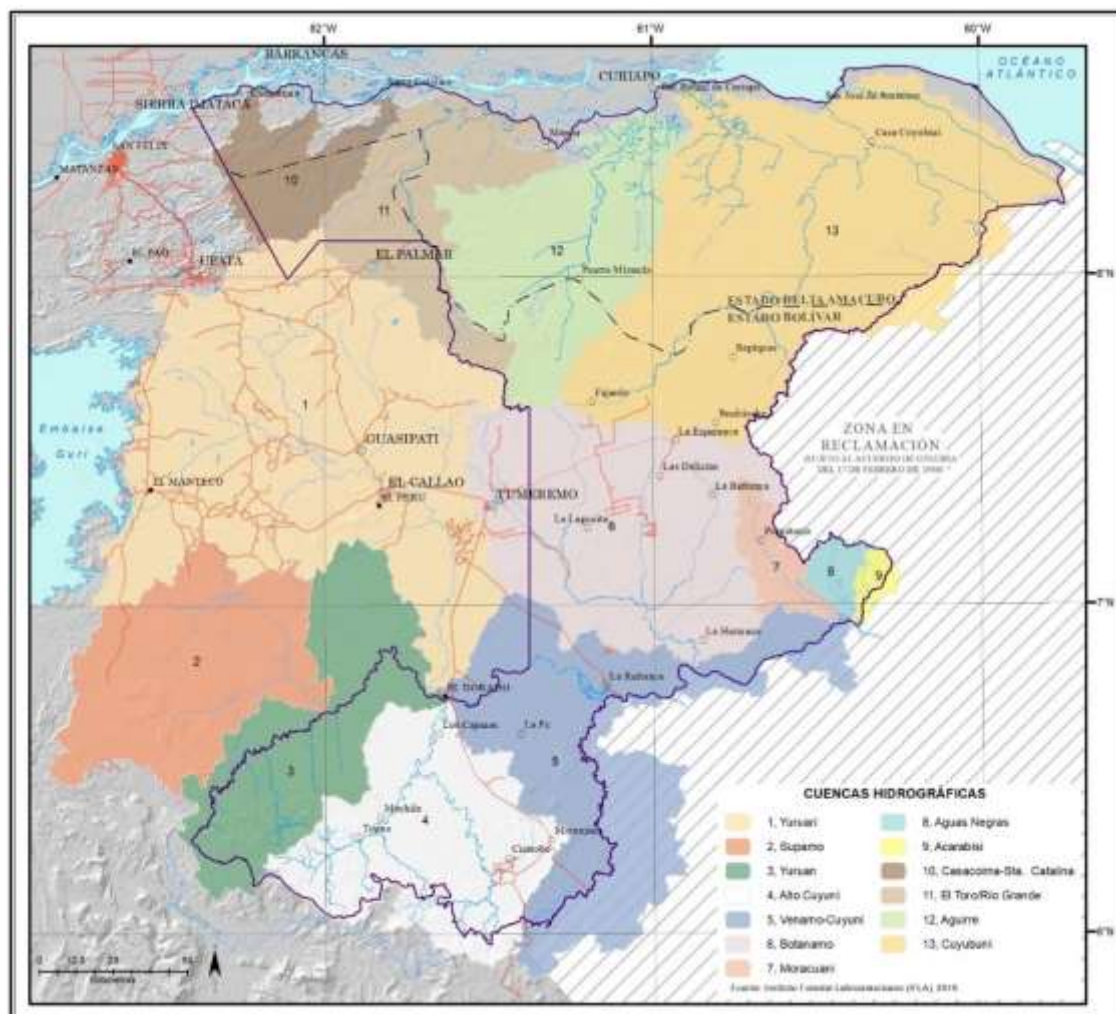


Figura 11.7. Subcuencas aportantes a la Reserva Forestal Imataca (RFI) y al Canal de Navegación del río Orinoco.

5.2. Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas

En las Figuras 11.8, 11.9, 11.10 y 11.11 se presentan de manera ilustrativa la representación en mapas de los factores K, R, LS y C de las diferentes subcuencas aportantes a la RFI, cuyos procedimientos de estimación fue explicado en la metodología planteada.

Los valores y los cálculos de estos factores se presentan en una hoja de cálculo en el Anexo 11.1, así como todos los archivos RASTER, utilizados en la elaboración de los mapas.

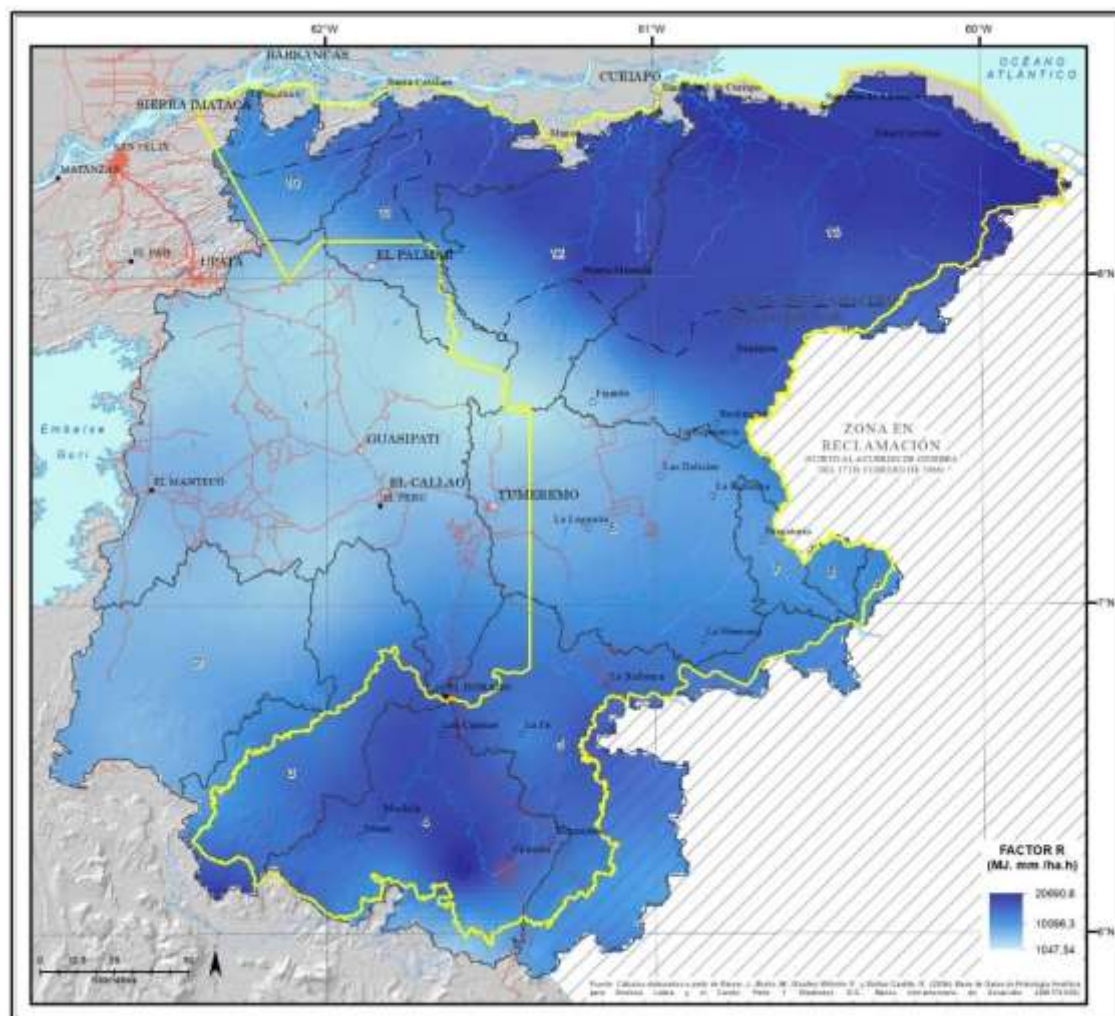


Figura 11.8. Factor R o erosividad de la lluvia

En la figura 11.8 se observa que la erosividad de la lluvia presenta valores que oscila entre mínimo de 735,7 y un máximo de 20 841,8 $Mj\ mm / ha-h$, siendo la lluvia más agresiva en el norte del área del estudio, con una tendencia de incremento hacia la zona nororiental, que corresponde a las subcuencas del Delta del Orinoco concernientes a los ríos Aguirre y Coyubuni con valores que rondan los 19 000 $Mj\ mm / ha-h$.

Asimismo, hacia el sur existe un foco concentrado de alta erosividad de la lluvia en la zona montañosa de la subcuenca del Alto Coyuni de la que forma parte la Sierra de Imataca. Esta distribución concuerda con el patrón de distribución pluviométrica que representa las áreas más lluviosas.

La zona central del área de estudio correspondiente a la subcuenca del Yaruari es donde se presentan los valores más bajos de erosividad de la lluvia, alrededor de los 1 000 $Mj\ mm / ha-h$ abarcando también el noroeste de la subcuenca del río Botanamo.

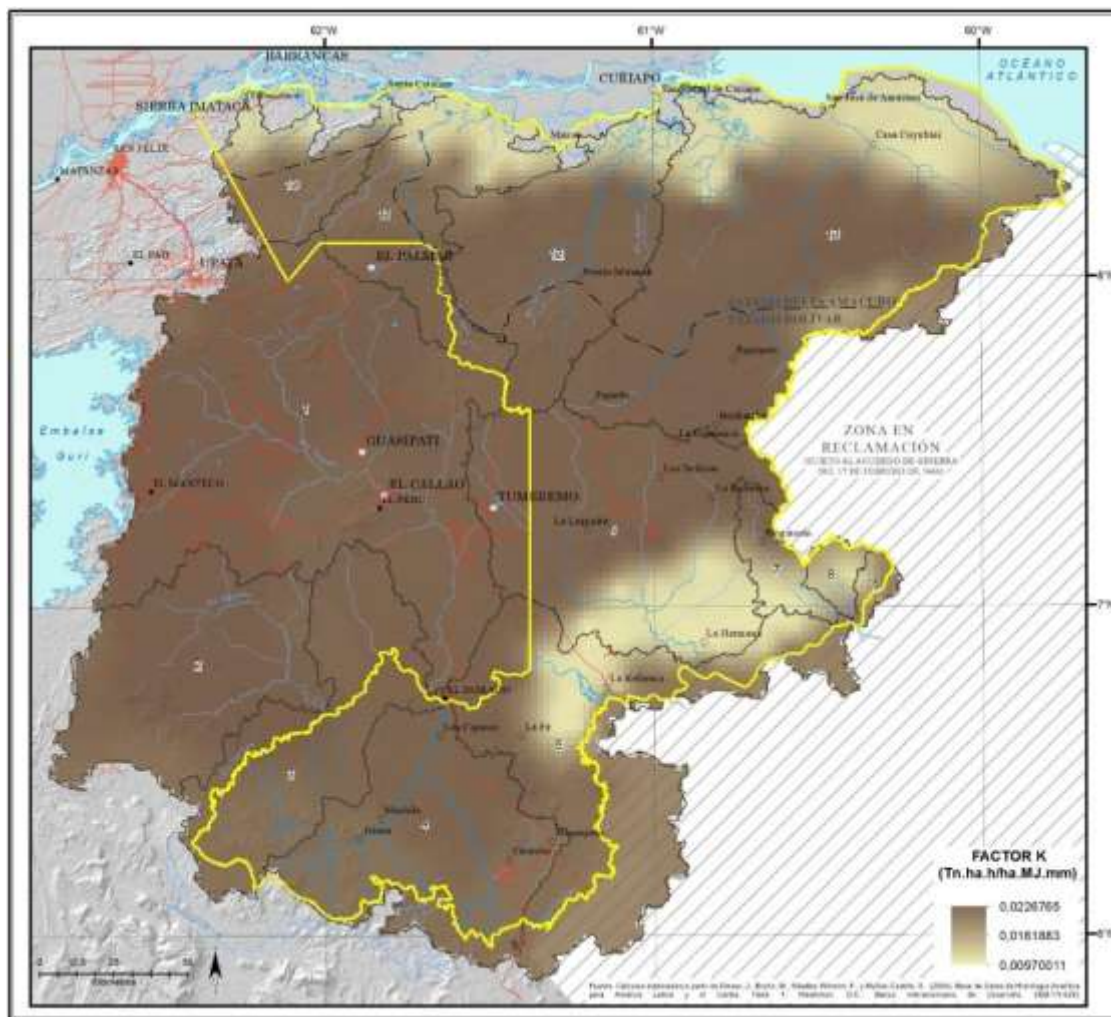


Figura 11.9. Factor K relacionado con la erosionabilidad del suelo

La erosionabilidad del suelo que ilustra la figura 11.9 exterioriza valores que oscilan entre 0,009 a 0,022 t*ha*h/ha*MJ*mm, observándose que los suelos más susceptibles a procesos erosivos se ubican al oeste de la zona de estudio fuera de la RFI, en las subcuencas de los ríos Yaruari y Supamo, al igual que una zona específica ubicada en la región central y centro norte de la subcuenca del Coyubuni con valores de alrededor de 0,022 t*ha*h/ha*MJ*mm.

Los valores menores de erosionabilidad del suelo se presentan en las zonas bajas de las subcuencas Casacoima, Río Grande, Aguirre y Coyubuni colindantes con el río Orinoco, al igual que al sureste de la subcuenca del Botnamo, norte del Venamo-Coyuni y en las subcuencas de los ríos Moracuani, Aguas Negras y Acarabisi. Estos valores oscilan entre 0,0098 y 0,015 t*ha*h/ha*MJ*mm excepto en una zona al norte de la subcuenca del río Moracuani en que el valor de erosionabilidad del suelo ronda los 0,022 t*ha*h/ha*MJ*mm.

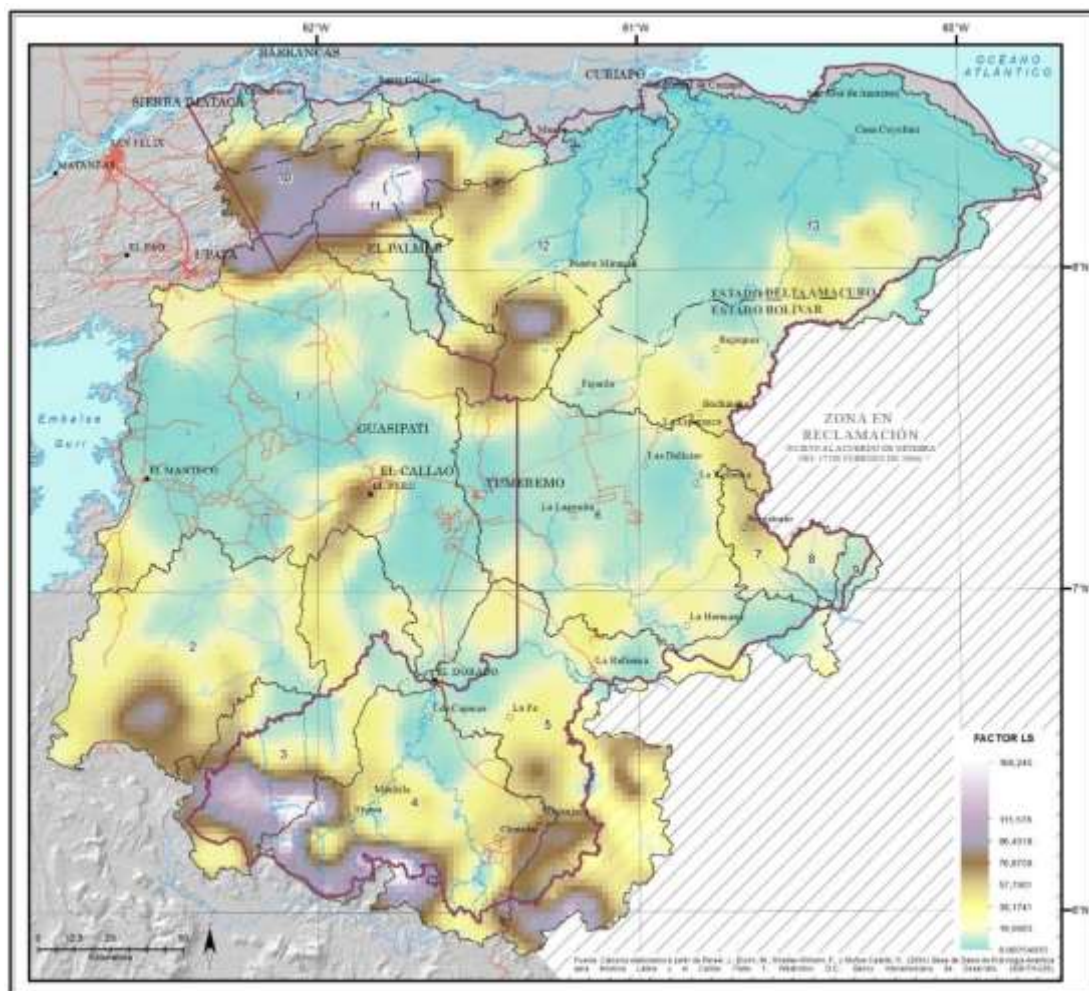


Figura 11.10. Factor topográfico, LS

Al analizar los resultados del factor topográfico se observa que este parámetro se muestra con mayor magnitud en las subcuencas del río Casacoima, Rio Grande y en el occidente y sur de la subcuenca del Aguirre, estas correspondiente al Delta del Orinoco

Para el caso de la cuenca del río Coyuni los altos valores se destacan en la zona correspondiente al límite sur del área de estudio, particularmente las subcuencas de los ríos Yuruan y Alto Coyuni zonas que integran parte de la Sierra de Imataca, en la que se aprecian valores de alrededor de 135, que es considerado muy alto, esto se debe a su condición montañosa y relieve irregular.

Asimismo, las subcuencas de Yaruari, Botanamo y Coyubuni son donde el Factor topográfico presenta las menores magnitudes, las cuales están alrededor de 10.

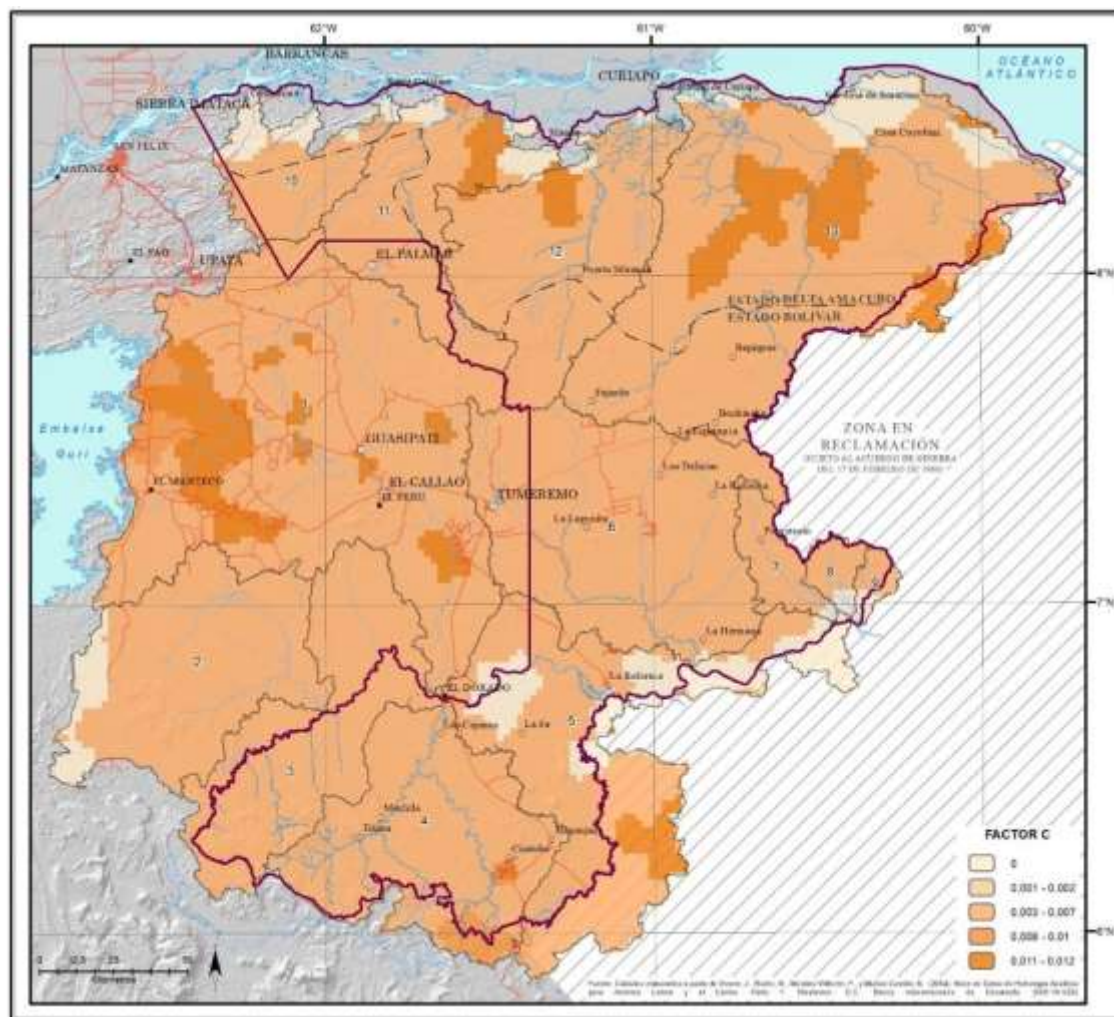


Figura 11.11. Factor de Cobertura, C

La figura 11.11 muestra una cobertura vegetal que en su mayor parte la ocupan zonas de bosque húmedo tropical con un C de 0,002, además se observa pequeñas y medianas áreas de sabana ubicadas mayormente al occidente de la subcuenca del río Yaruari, además de pequeñas áreas en el centro y suroeste de la referida subcuenca.

También se observan áreas de sabanas ($C = 0,010$) en a la zona norte oriental de las subcuencas Río Grande, norte de la subcuenca del Aguirre y parte central de río Coyubuni correspondiente a las que drenan hacia el río Orinoco, también se observa la misma vegetación (sabana) al suroeste de la subcuenca del río Venamo-Coyuni. También existen pequeñas áreas de bosque bajo ($C=0,007$) en el límite occidental de la subcuenca del río Yaruari y al sur la subcuenca del río Alto Coyuni, en lo que respecta a pastizales su presencia es muy pequeña.

Se pueden observar algunos cuerpos de agua o humedales en la parte norte de las subcuencas del Delta, colindante con el canal de navegación del río Orinoco, y en otras áreas de las subcuencas Ato Coyuni y Supamo.

5.3. Cálculo de las diferentes tasas de erosión de las subcuencas y su clasificación

El cálculo de la tasa de erosión se realizó mediante el producto de los diferentes factores anteriormente calculados como se indica en el esquema de la Figura 11.12, la cual arrojó los resultados que se presentan en la Tabla 11.4 y la Figura 11.13, en las que se indican las diferentes tasas de erosión y la clasificación de las subcuencas consideradas de acuerdo con su nivel erosivo.

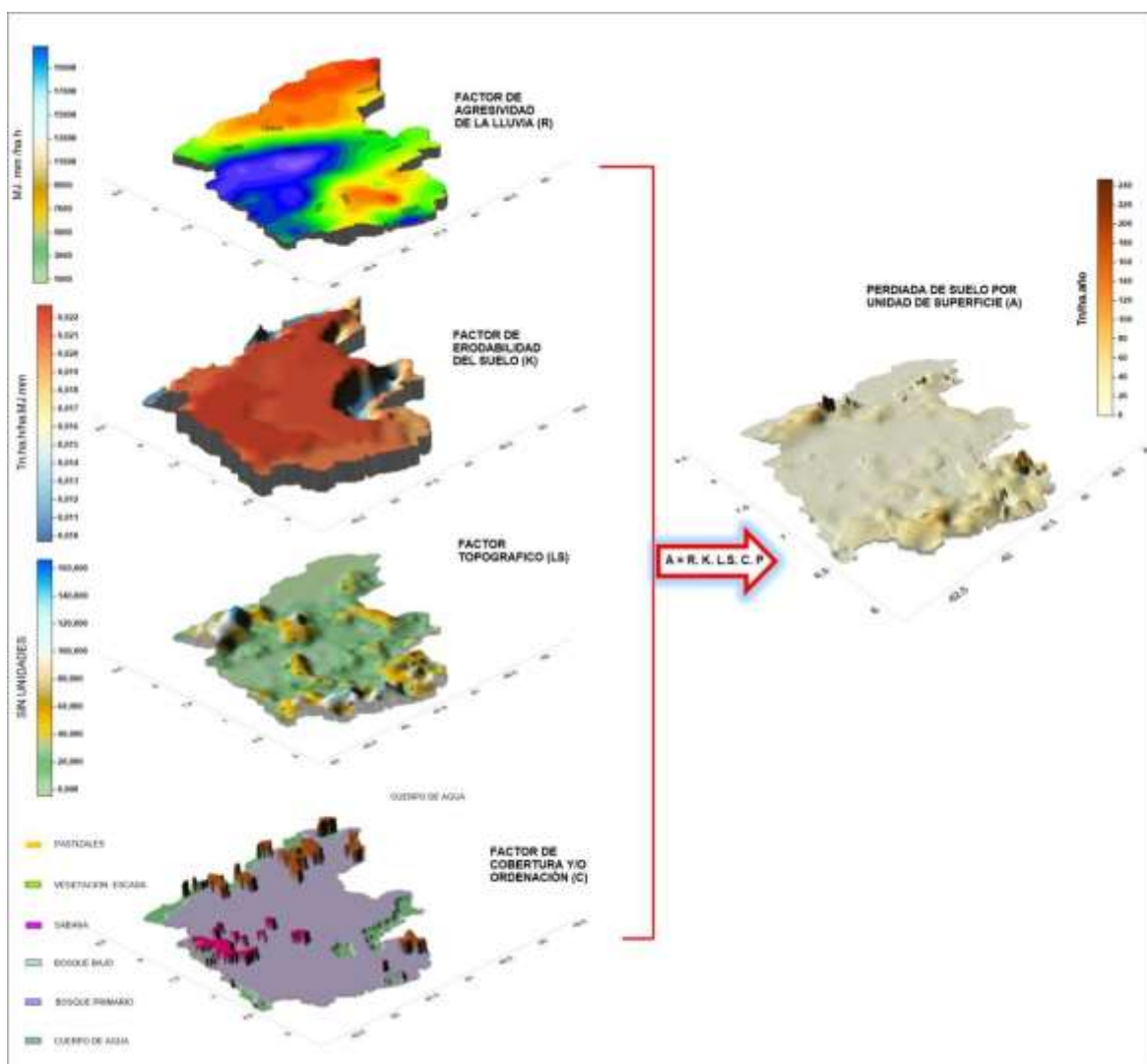


Figura 11.12. Esquema representativo de la aplicación del modelo de cálculo de la erosión mediante la USLE.

Fuente: Cálculos Propios

Tabla 11.4. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.

Sector	Subcuenca	Superficie, Km ²	Tasa de erosión, t/ha*año	Calificación
Subcuencas del Coyuni	1-Yurauri	11971,00	3,16	Nula a ligera
	2-Supamo	4666,12	9,02	Nula a ligera
	3-Yuruan	4392,69	22,08	Moderada
	4- Alto Coyuni	4888,44	30,44	Moderada
	5-Venamo-Coyuni	6696,24	19,00	Moderada
	6-Botanamo	6638,46	4,39	Nula a ligera
	7-Moracuani	729,96	11,04	Moderada
	8-Aguas Negras	365,69	4,16	Nula a ligera
	9-Acarabisi	244,56	2,55	Nula a ligera
Producción de las subcuencas del Coyuni		40 593,16	12,10	Moderada
Subcuencas del Delta	10-Casacoima a Sta. Catalina	1724,05	28,2	Moderada
	11- Río Grande	3215,81	28,99	Moderada
	12-Aguirre	4485,74	14,76	Moderada
	13-Coyubuni	11374,36	7,68	Nula a ligera
Producción de las subcuencas del Delta		20 799,96	14,22	Moderada
Total de los 2 sectores		61393,12	12,82	Moderada
Reserva Forestal Imataca (RFI)		38 200,00	14,68	Moderada

Fuente: Cálculos propios y clasificación establecida por FAO-PNUMA-UNESCO

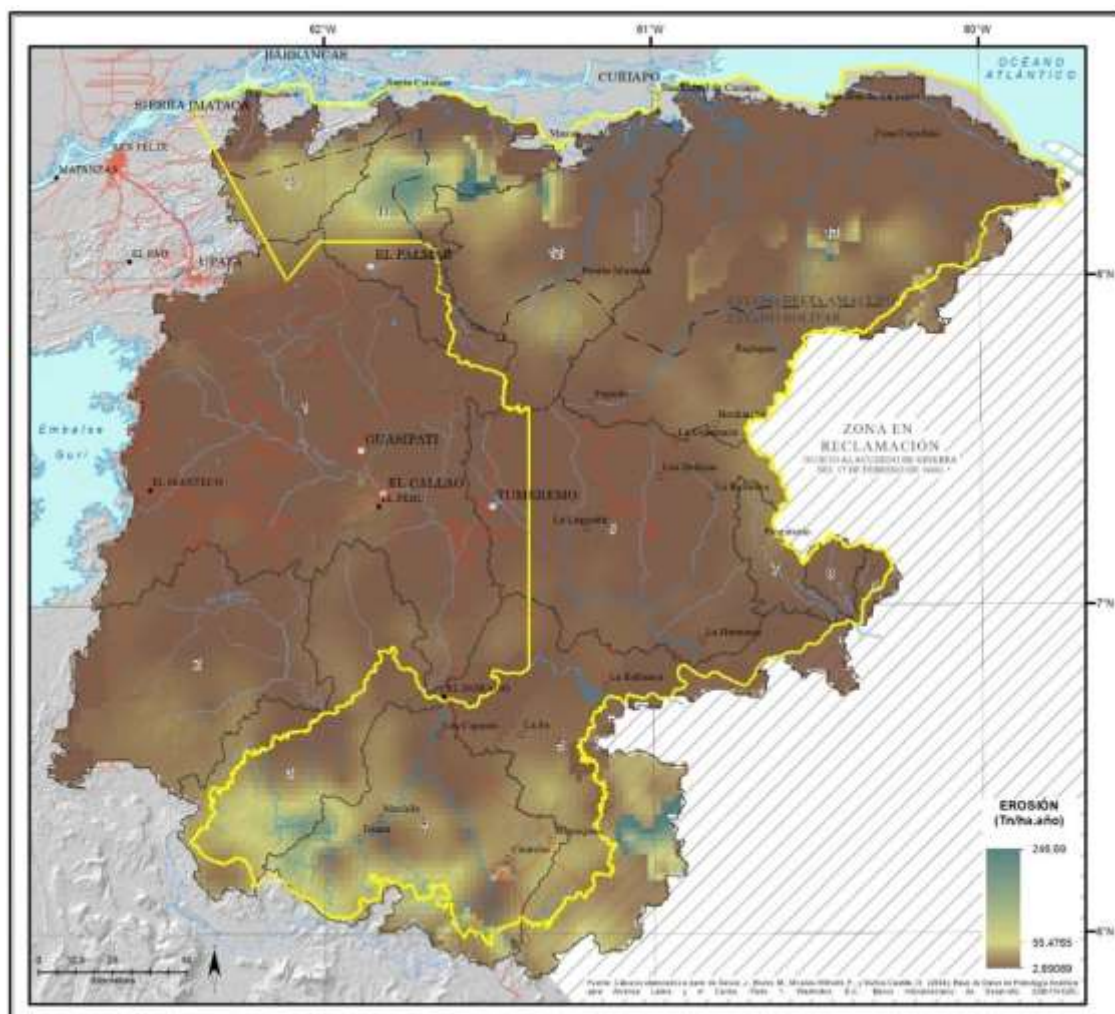


Figura 11.13. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI)

Al observar los resultados, se puede evidenciar que las subcuencas Yuruan (3), Alto Coyuni (4) y Venamo-Coyuni (5), en la parte sur, son la de mayor tasa promedio de erosión con 22,08; 30,44 y 19 t/ha al año, respectivamente.

Asimismo, las subcuencas Casacoima a Santa Catalina (10) con 28,20 t/ha al año y Rio Grande (11) con 28,99 t/ha al año, en la parte norte, son la que contribuyen con una mayor tasa de erosión lo que las ubica en una categorización de moderada media.

Si se observa el comportamiento de la agresividad de la lluvia y el factor topográfico se puede señalar que es en parte de esas subcuencas, donde se presenta los valores de mayor magnitud y por lo tanto incrementa el riesgo de pérdida de suelo.

El resto de las subcuencas presentan bajos índices de erosión con valores que oscilan entre 2,55 y 14,76 t/ha al año, sobre todo en el centro occidente, oriente, la región suroeste y



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



noreste, esta última limítrofe con el canal de navegación del Río Orinoco catalogándose de erosión ligera o nula a moderadamente baja.

Asimismo, se indica que la erosión promedio de las 9 subcuencas que conforman el río Coyuni hasta el límite con la zona del Esequibo es de 12,10 t/ha al año y la pérdida de suelo para las otras 4 subcuencas del Delta es 14,22 t/ha al año.

En promedio, para las 13 subcuencas el valor de la erosión ronda los 12,82 t/ha al año, valor éste que representa una erosión moderadamente baja, según las tolerancias establecidas por FAO-PNUMA-UNESCO.

En cuanto a la Reserva Foresta Imataca (RFI), la tasa de erosión promedio está alrededor de las 14,7 t/ha al año, siendo ésta una tasa de moderada a baja, presentándose los mayores aportes en la parte noroeste y sur de la misma con valores de alrededor de los 25 y 28,5 t/ha al año, respectivamente.

Al igual que el análisis anterior, el resto de la RFI presenta valores relativamente bajos calificándola de moderada baja a incipiente, en lo que respecta a las pérdidas de suelo o erosión.

En resumen, se encontró que 7 de las 13 subcuencas consideradas, presentan erosión moderada, las otras 6 subcuencas presentan erosión nula a ligera. De las 9 subcuencas, que pertenecen a la cuenca del Coyuni, 4 se clasifican de erosión moderada y 5 de nula a ligera. En términos promedio, este sector se clasifica de erosión moderada.

Por otra parte, las 4 subcuencas que pertenecen al sector del Delta, y descargan en el río del Orinoco, 3 se clasifican de erosión moderada y 1 de nula a ligera. En términos promedio, este sector se clasifica de erosión moderada.

Dentro de la Reserva, la erosión se clasifica como moderada.

Los resultados de los cálculos de la producción de sedimentos se presentan en una hoja de cálculo en el Anexo 11.1.

5.4. Cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas.

La Tabla 11.5 presenta la producción de sedimentos y su volumen por las diferentes subcuencas aportantes. Para este caso se tomó en cuenta el área total de drenaje y se ponderó la tasa de erosión en función de la superficie de las cuencas que desembocan a un punto común.

Tabla 11.5. Producción de sedimentos por las diferentes subcuencas aportantes.

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje, Km ²	Tasa de Erosión Ponderada t/ha*año	Producción Total de Sedimentos m ³ /año
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	3,16	2 911 696,89
	2- Supamo	4 666,12	9,02	3 238 049,31
	3- Yuruan	21 029,81	8,41	13 610 851,1
	4- Alto Coyuni	4 888,44	30,44	11 445 511,61
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	12,13	37 872 087,07
	6- Botanamo	6 638,46	4,39	2 242 688,96
	7- Moracuani	729,96	11,04	619 852,70
	8- Aguas Negras	365,69	4,16	116 967,56
	9- Acarabisi	244,56	2,55	47 894,48
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	28,2	3 739 483,07
	11- Rio Grande	3 215,81	28,99	7 170 613,80
	12- Aguirre	4 485,74	14,76	5 093 065,74
	13- Coyubuni	11 374,36	7,68	6 720 812,72

Fuente: Cálculos Propios

Al analizar los resultados, se evidencia que el área de la cuenca de Venamo-Coyuni abarca todas las subcuencas del sector de río Coyuni, ya que todas las aguas drenan hacia el punto de salida de esta cuenca en los límites con el Esequibo

En el caso del aporte de la subcuenca Yuruan el área de drenaje incluye las subcuencas de los ríos Yurauri y Supamo, además de la misma Yuruan, por lo que el coeficiente de entrega (CES) viene en función del área drenada hacia ese punto y no necesariamente el área de la subcuenca.

5.5. Selección las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica

Para seleccionar las subcuencas donde se va a realizar la valoración económica se usaron los siguientes criterios:

- Que tengan una clase de erosión superior a ligera.
- Que afecten alguna infraestructura y por lo tanto sea probable que exista Disposición A Pagar para evitar los posibles daños.
- Que estén completamente dentro de la RFI.

Las subcuencas del sector Delta son las que reúnen los criterios arriba señalados. La Figura 11.14 presenta todas las subcuencas aportantes, resaltando los puntos donde se asume descargan las mismas los sedimentos, indicándose sus coordenadas y señalando a las del sector del Delta del Orinoco.

En el caso de la subcuenca del río Coyubuni (13) se seleccionó aun cuando presenta una tasa de erosión ligera (7,68 t/ha*año), pero cumple con las otras dos condiciones impuestas, por lo se decidió incluirla por su importancia relativa.

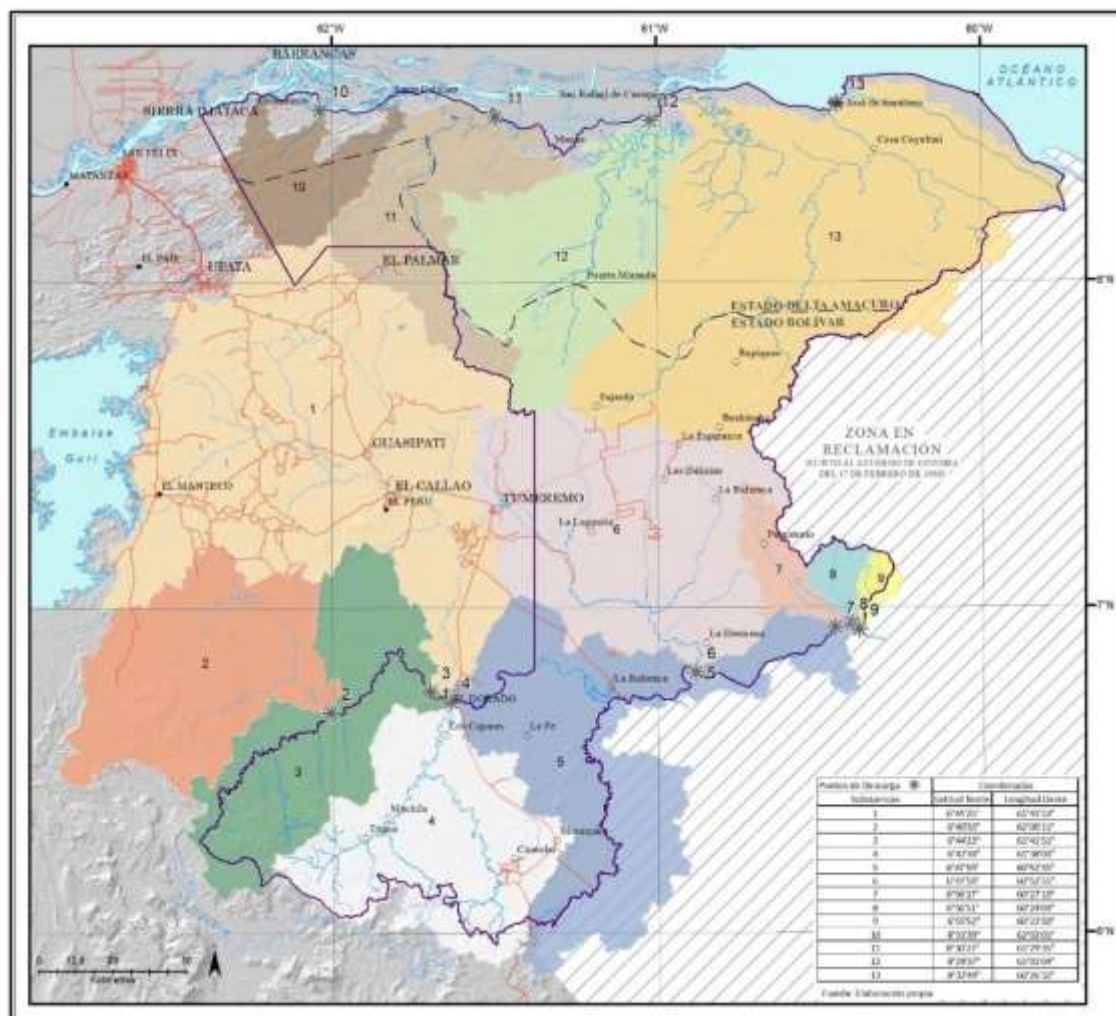


Figura 11.14. Puntos de descarga supuestos de las diferentes subcuencas, resaltando las del Delta del Orinoco.

5.6. Estimación la cantidad de sedimentos aportantes a los cursos de agua de las subcuencas seleccionadas

La Tabla 11.6 presenta la cantidad de sedimentos aportantes en los diferentes puntos de interés por las diversas subcuencas, en donde se resaltan las del Delta por ser las seleccionadas.

Tabla 11.6. Resultados de los sedimentos totales aportados a las confluencias de cada subcuenca con base en el Coeficiente de Entrega de sedimento (CES)

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje Km ²	Tasa de Erosión Ponderada Tn/ha*año	Producción Total de Sedimentos m ³ /año	Coeficiente de Entrega de Sedimentos (CES), %	Aporte de Sedimentos m ³ /año
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	3,16	2 911 696,89	3,67	106 959,18
	2- Supamo	4 666,12	9,02	3 238 049,31	4,66	150 965,09
	3- Yuruan	21 029,81	8,41	13 610 851,1	3,19	433 557,65
	4- Alto Coyuni	4 888,44	30,44	11 445 511,61	4,61	527 368,32
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	12,13	37 872 087,07	2,70	1 021 455,8
	6- Botanamo	6 638,46	4,39	2 242 688,96	4,26	95 636,77
	7- Moracuani	729,96	11,04	619 852,70	7,45	46 207,53
	8- Aguas Negras	365,69	4,16	116 967,56	8,88	10 385,72
	9- Acarabisi	244,56	2,55	47 894,48	9,83	4 708,29
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	28,2	3 739 483,07	6,00	224 286,62
	11- Río Grande	3 215,81	28,99	7 170 613,80	5,12	367 325,25
	12- Aguirre	4 485,74	14,76	5 093 065,74	4,71	239 830,37
	13- Coyubuni	11 374,36	7,68	6 720 812,72	3,72	250 098,56

Fuente: Cálculos Propios

La Tabla 11.7 presenta el aporte de sedimentos por unidad de superficie de cada subcuenca, resaltando las seleccionadas.

5.7. Valoración económica del SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas

Para valorar económicamente el SE control de la erosión y sedimentación de las subcuencas seleccionadas, primero se determinó la producción y aporte total de sedimentos para los seis escenarios planteados y las cuatro subcuencas del Delta del río Orinoco, expresados para una hectárea como unidad de superficie a sustituir según el escenario considerado.

La Tabla 11.8 muestra la producción y aporte total de sedimentos para los seis escenarios planteados y las cuatro subcuencas del Delta del río Orinoco expresados para una hectárea como unidad de superficie a sustituir según el escenario considerado.

Tabla 11.7. Resultados de los sedimentos aportados a las confluencias de cada subcuenca por unidad de superficie.

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje		Aporte de Sedimentos, m ³ /año		
		Kilómetros cuadrados (Km ²)	Hectárea (ha)	Total (m ³ /año)	Por Kilómetro cuadrado (Km ²)	Por Hectárea (ha)
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	1 197 100,00	106 959,18	8,93	0,09
	2- Supamo	4 666,12	466 612,00	150 965,09	32,35	0,32
	3- Yuruan	21 029,81	2 102 981,00	433 557,65	20,62	0,21
	4- Alto Coyuni	4 888,44	488 844,00	527 368,32	107,88	1,08
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	4 059 316,00	1 021 455,8	25,16	0,25
	6- Botanamo	6 638,46	663 846,00	95 636,77	14,41	0,14
	7- Moracuani	729,96	72 996,00	46 207,53	63,30	0,63
	8- Aguas Negras	365,69	36 569,00	10 385,72	28,40	0,28
	9- Acarabisi	244,56	24 456,00	4 708,29	19,25	0,19
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	172 405,00	224 286,62	130,09	1,3
	11- Rio Grande	3 215,81	321 581,00	367 325,25	114,22	1,14
	12- Aguirre	4 485,74	448 574,00	239 830,37	53,47	0,53
	13- Coyubuni	11 374,36	1 137 436,00	250 098,56	21,99	0,22

Fuente: Cálculos Propios con base en la base de datos del Programa HydroBID

Los resultados presentados en la tabla 11.7 están relacionado a la unidad de superficie de la hectárea, en la que la tasa de erosión ponderada conserva la misma proporción de cobertura de vegetación presente en cada una de las trece subcuencas. Esto permite el cálculo de producción de sedimentos en función del área efectiva de drenaje.

Como se indicó anteriormente, esta cantidad de sedimento representa el volumen que llega al Canal de Navegación del río Orinoco y que posteriormente será transportado y depositados de acuerdo con los mecanismos y características del río.

Tabla 11.8. Resultados de la producción y aporte total de sedimentos para los seis escenarios planteados y las cuatro subcuencas del Delta del río Orinoco expresados para una hectárea como unidad de superficie a sustituir según el escenario considerado.

Escenarios	Item Superficie en Km ² Coeficiente de Entrega de Sedimentos (CES) en %	Subcuencas del Delta			
		10-Casacoima a Sta. Catalina	11- Río Grande	12-Aguirre	13-Coyubuni
		1 724,05	3 215,81	4 485,74	11 374,36
		6,00	5,12	4,71	3,72
Escenario C1: Situación actual	Tasa de erosión en t/ha*año	28,20	28,99	14,76	7,68
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	21,69	22,30	11,35	5,91
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	1,30	1,14	0,53	0,22
Escenario C2: Sustitución del bosque primario por bosque bajo C =0,007	Tasa de erosión en t/ha*año	98,69	82,67	44,89	22,46
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	75,92	63,60	34,53	17,28
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	4,55	3,26	1,63	0,64
Escenario C3: Sustitución del bosque primario por sabana C =0,010	Tasa de erosión en t/ha*año	140,99	114,89	62,96	31,32
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	108,45	88,38	48,43	24,10
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	6,50	4,53	2,28	0,90
Escenario C4: Sustitución del bosque primario por vegetación escasa C =0,012	Tasa de erosión en t/ha*año	169,18	136,36	75,01	37,23
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	130,14	104,89	57,70	28,64
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	7,81	5,37	2,72	1,07
Escenario C5: Sustitución del bosque primario por pastizales C =0,02	Tasa de erosión en t/ha*año	281,97	222,26	123,21	60,88
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	216,90	170,97	94,78	46,83
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	13,01	8,76	4,46	1,74
Escenario C6: Sustitución del bosque primario por cultivos de cobertura media C =0,5	Tasa de erosión en t/ha*año	7 049,29	5 376,27	3 015,30	1 479,40
	Producción de sedimentos (PS) en m ³ /año (ρ=1,3 t/m ³)	5 422,53	4 135,59	2 319,46	1 138,00
	Aporte de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	325,23	211,85	109,22	42,35

Fuente: Cálculos Propios

A continuación, se determinó el costo de dragado de los sedimentos presentados en la Tabla 11.8. Este costo corresponde a cada escenario propuesto para cada subcuenca seleccionada. La Tabla 11.9 presenta los costos antes mencionados.

Tabla 11.9. Costo de dragado para los sedimentos aportados por cada subcuenca seleccionada al Canal del Orinoco para los seis escenarios planteados

Escenario	Costo Promedio del Dragado en USD /m ³ 9,21	Subcuencas del Delta Orinoco			
		10-Casacoima a Sta. Catalina	11- Rio Grande	12-Aguirre	13-Coyubuni
C1	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	1,3	1,14	0,53	0,22
	Costo en USD/ha	11,98	10,52	4,92	2,03
C2	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	4,55	3,26	1,63	0,64
	Costo en USD/ha	41,94	30	14,97	5,92
C3	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	6,5	4,53	2,28	0,9
	Costo en USD/ha	59,91	41,69	21	8,26
C4	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	7,81	5,37	2,72	1,07
	Costo en USD/ha	71,89	49,49	25,02	9,82
C5	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	13,01	8,76	4,46	1,74
	Costo en USD/ha	119,82	80,66	41,11	16,05
C6	Volumen de sedimentos (AS) en m ³ /año/ha	325,23	211,85	109,22	42,35
	Costo en USD/ha	2 995,39	1 951,16	1 005,94	390,03

Fuente: Cálculos Propios

Ahora bien, con base en la Tabla 11.9 se obtuvo el valor del SE control de la erosión y sedimentación, al restar el costo de dragado del bosque primario del resto de los costos de los otros escenarios en cada una de las subcuencas seleccionadas. La Tabla 11.10 presenta dichos cálculos.

Todos los cálculos relacionados con la producción y aporte de sedimentos y así como la estimación de costos, que fueron presentados en las Tablas 11.5, 11.6, 11.7, 11.8 y 11.9 se presentan en una hoja de cálculo en el Anexo 11.1.

Tabla 11.10. Valor económico del SE control de la erosión y sedimentación para cada una de las subcuencas seleccionadas.

Subcuenca 10. Casacoima a Santa Catalina					
Escenario	Volumen m ³ /ha/año	Costo US\$/ha/año			
C1	1,3	11,98	Diferencia escenarios	Diferencia volumen	Diferencia costo
C2	4,55	41,94	C2-C1	3,25	29,96
C3	6,5	59,91	C3-C1	5,2	47,93
C4	7,81	71,89	C4-C1	6,51	59,91
C5	13,01	119,82	C5-C1	11,71	107,84
C6	325,23	2995,39	C6-C1	323,93	2983,41
Subcuenca 12. Aguirre					
Escenario	Volumen m ³ /ha/año	Costo US\$/ha/año			
C1	0,53	4,92	Diferencia escenarios	Diferencia volumen	Diferencia costo
C2	1,63	14,97	C2-C1	1,1	10,05
C3	2,28	21	C3-C1	1,75	16,08
C4	2,72	25,06	C4-C1	2,19	20,14
C5	4,46	41,11	C5-C1	3,93	36,19
C6	109,22	1005,94	C6-C1	108,69	1001,02
Subcuenca 11. Río Grande					
Escenario	Volumen m ³ /ha/año	Costo US\$/ha/año			
C1	1,14	10,52	Diferencia escenarios	Diferencia volumen	Diferencia costo
C2	3,26	30	C2-C1	2,12	19,48
C3	4,53	41,69	C3-C1	3,39	31,17
C4	5,37	49,49	C4-C1	4,23	38,97
C5	8,76	80,66	C5-C1	7,62	70,14
C6	211,85	1951,16	C6-C1	210,71	1940,64
Subcuenca 13. Coyubuni					
Escenario	Volumen m ³ /ha/año	Costo US\$/ha/año			
C1	0,22	2,03	Diferencia escenarios	Diferencia volumen	Diferencia costo
C2	0,64	5,92	C2-C1	0,42	3,89
C3	0,9	8,26	C3-C1	0,68	6,23
C4	1,07	9,82	C4-C1	0,85	7,79
C5	1,74	16,05	C5-C1	1,52	14,02
C6	42,35	390,03	C6-C1	42,13	388

Fuente: Cálculos Propios

Con base en la Tabla 11.10, se puede indicar, por ejemplo, para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina, el servicio ecosistémico que presta el bosque, desde el punto de vista de control de la erosión y sedimentación, es de 29,96 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de éste por un bosque bajo. El valor sería de 2 983,41 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de bosque por una de cultivo de cobertura media.

Para la subcuenca Aguirre, el servicio ecosistémico que presta el bosque, desde el punto de vista de control de la erosión y sedimentación, es de 10,05 USD/ha al año si se quiere



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



reemplazar una hectárea de éste por un bosque bajo. El valor sería de 1 001,02 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de bosque por una de cultivo de cobertura media.

Para la subcuenca Río Grande, el servicio ecosistémico que presta el bosque, desde el punto de vista de control de la erosión y sedimentación, es de 19,48 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de éste por un bosque bajo. El valor sería de 1 940,64 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de bosque por una de cultivo de cobertura media.

Para la subcuenca Coyubuni, el servicio ecosistémico que presta el bosque, desde el punto de vista de control de la erosión y sedimentación, es de 3,89 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de éste por un bosque bajo. El valor sería de 388 USD/ha al año si se quiere reemplazar una hectárea de bosque por una de cultivo de cobertura media.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La falta de información básica constituye la principal limitante a la hora de realizar las diferentes estimaciones, aunado al hecho de la dificultad de accesibilidad a los sitios de interés.
- La red hidrográfica de la RFI está compuesta por 13 subcuencas; 9 pertenecen a la cuenca del río Coyuní y 4 descargan al Delta del Orinoco.
- Al ser el área de estudio tan extensa de 61 393,12 Km² hace que la generación de información básica se fundamente en la necesidad de la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y software especializados en manejo y análisis espacial de información, así como el de modelaje de datos espaciales y temporales.
- Las tasas de erosión oscilan entre 2,55 y 30,44 t/ha al año, catalogándose según la FAO-PNUMA-UNESCO como de ligera o nula a moderada.
- La Reserva Forestal Imataca (RFI) presenta un valor de producción de sedimento de 14,68 t/ha al año, debido a la presencia del Bosque en la RFI, la erosión en la misma es moderada.
- El cálculo de la producción de sedimentos (PS) se realizó con tasas de erosión ponderadas solo en aquellos casos de que una subcuenca recibiera aportes de otras subcuencas como son las subcuencas Yuruan cuya área de drenaje incluye las subcuencas de los ríos Yuruari y Supamo y la subcuenca de Venamo-Coyuni que abarca todas las subcuencas del sector del río Coyuni.
- El aporte de sedimento de las subcuencas oscila entre $4,7 \times 10^3$ y $1021,4 \times 10^3$ m³ al año, que corresponden a las subcuencas de Acarabisi y Venamo-Coyuni respectivamente.
- La formulación de escenarios constituye una herramienta de mucha importancia, ya que permite la proyección de situaciones hipotéticas tanto en el ámbito espacial y temporal de una variable específica. Para el presente estudio la variable seleccionada es el Factor C de la USLE que se relaciona con el nivel de cobertura vegetal y su manejo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- La selección de los escenarios fue realizada bajo el supuesto del cambio tendencial que presenta el área de las subcuencas estudiadas.
- Los escenarios fueron formulados sólo para las cuatro subcuencas que aportan al Delta, debido a que son las aportantes de sedimentos al canal de navegación de río Orinoco, vía fluvial de vital importancia en el transporte de productos de las empresas básicas de Guayana, así como el ingreso de cargas provenientes del exterior. Otra de las razones, es que existen organismos o instituciones dispuestos a contribuir con la mitigación de los efectos negativos del aporte de sedimentos al canal de navegación y así conservar esta importante arteria de navegación.
- El aporte de sedimento para cada uno de los escenarios se calculó en $m^3/año$ y bajo el supuesto de la sustitución de una hectárea de cobertura vegetal del bosque primario, conservando la proporcionalidad de las otras coberturas.
- La valoración económica del SE control de la erosión y sedimentación, se realizó sólo para las subcuencas del Delta (Casacoima a Santa Catalina; Río Grande; Aguirre y Cuyubuni), por ser las únicas que afectan a una infraestructura importante como es el canal del Orinoco, tener erosión moderada y estar dentro de la RFI.
- El costo evitado del dragado del Canal se asumió como representativo del SE antes mencionado.
- El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina varía entre 29,96 a 2 983,41 USD/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.
- El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Río Grande varía entre 19,48 a 1 940,64 USD/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.
- El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Aguirre varía entre 10,05 a 1 001,02 USD/ha al año dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.
- El valor del SE del bosque de control de la erosión y sedimentación para la subcuenca Cuyubuni varía entre 3,89 a 388 USD/ha al año, dependiendo del cambio de uso de la tierra, de sustitución del bosque primario a bosque bajo o bosque primario a cultivo de cobertura media, respectivamente.

6.2. Recomendaciones

- Usar los valores estimados anteriormente como órdenes de magnitud debido a la gran cantidad de supuestos asumidos para el estudio.
- Establecer un conjunto de unidades de investigación con el fin de generar información básica en cuanto a los parámetros que intervienen en la erosión hídrica
- Si se va a trabajar con una escala más detallada, realizar los estudios de campo respectivos



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



para determinar a nivel de campo la pérdida de suelo por erosión.

- Es necesario la conformación de una base de datos nacional que permita el acceso a datos de interés para posteriores estudios.
- Incorporar el cambio climático en posteriores estudios con el fin de plantear escenarios de manejo.
- Establecer estaciones de medición de sedimentos en los principales cauces de río que conforman la RFI y sus cuencas de influencias.
- Establecer estaciones meteorológicas en toda el área para generar información pluviométrica de primer orden, al igual que otros parámetros climáticos.
- Realizar estudios semidetallados de suelo para la obtención de información edafológica básica al igual que un inventario de la vegetación.
- Establecer un marco institucional con apoyo multilateral para consolidar y preservar la subcuenca del Coyuni y Delta para de esta forma controlar su degradación y disminuir la pérdida de suelo por erosión hídrica y su posterior arrastre a los cuerpos de agua.
- Se debe emprender una actualización de precios de dragado para de esta forma tener insumos reales y actualizados, necesario en la valoración económica.
- Establecer convenio con organismos multilaterales de financiamiento y de asesoría técnica en la preservación de la Reserva Foresta Imataca y sus cuencas de influencia.

7. Bibliografía

Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). 2017. Edición en línea de www.unoentrierios.com.ar. Argentina, 14 de diciembre de 2017. (Disponible en: <https://www.unoentrierios.com.ar/la-provincia/el-dragado-del-rio-uruguay-costara-unos-30-millones-dolares-n1523978.html>). Acceso: 30 de julio de 2019.

Consorcio Portuario Regional del río del Plata. 2017. Edición en línea de www.pescare.com.ar. Argentina, 27 de julio de 2017. (Disponible en: <https://www.pescare.com.ar/el-consorcio-portuario-detalle-aspectos-del-dragado-y-subrayo-el-precio-pagado/>). Acceso: 30 de julio de 2019.

Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena). 2019. Edición en línea del Diario del César. Colombia. 11 de abril de 2019. (Disponible en: <https://www.diariodelcesar.com/archivos/20650>). Acceso: 29 de julio de 2019.

Gobierno de Cantabria. *Consejería de Obras Públicas y Viviendas, Dragado y Mantenimiento de Puertos de Cantabria (2020-2024). Participación Pública*. (Disponible en: https://www.miteco.gob.es/va/costas/participacion-publica/dragadomantenimiento-puertoscant2020-2024_tcm39-495944.pdf). Acceso: 1 de agosto de 2019.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



INAMEH. 2017. *Escenarios climáticos. Segunda Convocatoria Nacional de Cambio Climático de la República Bolivariana de Venezuela*. MPPEA.

Meyer, L.D. y Wischmeier, W.H. 1969. *Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water*. Transactions of the ASAE 12(6): 754-758,762.e.

Montoya, J.J. 2008. *Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos*. Valencia (España). Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad de Valencia.

Olmos, L.A., Spalletti, P., Farias, H. y Pilan, D. 2008. *Verificación de Modelos de Producción de Sedimentos en Cuencas del N.O. Argentino*, Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua, Volumen 15 Número 2, Junio 2008.

Prefectura del Guayas, Guayaquil, Ecuador. 2019. Edición en línea de www.eluniverso.com. Ecuador. 29 de marzo de 2018. (Disponible en: <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/03/29/nota/6689404/rubro-dragado-aumento-4-millones>). Acceso: 1 de agosto de 2019.

Prefectura del Guayas, Ecuador. 2016. Edición en línea de www.wordpress.com. 10 de noviembre de 2016. (Disponible en: <https://nbrito11m98.wordpress.com/2016/11/10/dragado-del-rio-guayas/>). Agosto: 31 de julio de 2019.

Rineer, J., Bruhn, M., Miralles-Wilhelm, F., y Muños-Castillo, R. 2014. *Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1* Washington. D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. (IDB-TN-528)

Rodríguez, O. 2018. *Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable*. Caracas, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV, ISBN: 978-980-00-2520-8

Wischmeier, W.H. y Smith, D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. USA. U.S.D.A. and Agriculture Research Service, Agriculture Handbook No 282.

Zambrano, J. 2015. *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG*. (Tesis Doctoral en Ingeniería Civil). Barcelona (España). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona TECH, España.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 12

Valoración Ambiental y Económica del Servicio Ecosistémico Mantenimiento de la Calidad del Agua de la Reserva Forestal Imataca

Resumen

El servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua brindado por la RFI es de gran importancia. Para realizar la valoración ambiental y económica del SE se usó la técnica de costos evitados, asumiendo que, si se realizan las obras de control de la contaminación por mercurio, otros contaminantes y sedimentos, se evitan los costos de degradación de los cursos de agua de la Reserva. En otras palabras, las obras de control de la contaminación substituyen el servicio ecosistémico de mantenimiento de la calidad del agua que provee la RFI, a su vez evitando los costos de la degradación del recurso hídrico.

El capítulo se abordó desde dos puntos de vista: el primero de ellos, relacionado con la afectación de la calidad del agua por la presencia de mercurio y otras especies contaminantes, producto de la actividad minera aurífera; y, por otra parte, por la contaminación de los cauces por efecto de los sedimentos producidos en las partes altas y medias de las trece subcuencas que surcan la RFI.

Para el primer punto de vista se formuló un sistema de tratamiento de aguas residuales que permitieran mitigar la contaminación generada por mercurio y otros contaminantes, luego conocer los costos de ese sistema, lo que permitió valorar este servicio ecosistémico a través del método de costos evitados.

Para el segundo punto de vista, se identificaron las subcuencas aportantes y la producción de sedimentos en la RFI, se formularon presas de enrocado como sistemas para el control de la contaminación por sedimentos a los cursos de agua, y con base a los costos de las presas, se valoró el servicio ecosistémico.

Se determinó la necesidad de construir 25 sistemas de tratamiento para el área del Arco Minero dentro de la RFI, la cual es de 23 085,13 km². Los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento de cada sistema son: 286 375,50; 7 362,00; 29 286,00 y 1 970,50 USD, respectivamente.

Los costos anuales de las presas de enrocado para el control de sedimentos de las subcuencas del Coyuni fueron: 474 954,59 USD/año para la subcuenca del río Yuruarí; 677 282,92 USD/año para la subcuenca del río Supamo, 2 231 175,00 USD/año para la subcuenca del río Yuruán, 2 088 994,14 USD/año para la subcuenca del Alto Coyuní, 991 246,17 USD/año para subcuenca Venamo-Coyuni; 623 516,71 USD/año para subcuenca Botanamo; 262 301,74 USD/año para subcuenca Moracuani; 127 997,64 USD/año para subcuenca Aguas Negras y 101 692,03 USD/año para subcuenca Acarabisi.

Los costos anuales de las presas de enrocado para el control de sedimentos de las subcuencas del Delta del Orinoco fueron: 1 082 103,31 USD/año para la subcuenca



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Casacoima a Santa Catalina; 720 335,04 USD/año para la subcuenca Río Grande; 1 386 728,99 para subcuenca Aguirre y 1 131 801,68 USD/año para la subcuenca Coyubuni.

El Valor Presente de los Costos para cada sistema de tratamiento de control de la contaminación por mercurio y otros contaminantes fue de 549 400 USD. El Costo Anual Equivalente se ubicó en 80 665,37 USD/año.

Usando la superficie del Arco Minero del Orinoco y el costo de las 25 unidades de tratamiento, se obtuvo un valor de 6 USD/ha. Asimismo, de acuerdo con el volumen de agua tratado, el costo es de 0,7 USD/m³. Ambos costos son referentes al costo de mantenimiento de la calidad del agua para el control de la contaminación de mercurio y otros agentes.

Utilizando las superficies de las subcuencas del Coyuni y el volumen de sedimento anual por ellas producidos, se determinó que el costo de las presas de enrocado, por superficie y volumen controlado, fueron, en USD/ha y USD/m³, de: 0,40 y 4,48 para la subcuenca del río Yuruarí; 1,45 y 4,51 para la subcuenca del río Supamo, 5,08 y 6,36 para la subcuenca del río Yuruán, 4,27 y 3,99 para la subcuenca del Alto Coyuní, 1,48 y 2,40 para subcuenca Venamo-Coyuni, 0,94 y 6,57 para subcuenca Botanamo, 3,59 y 5,69 para subcuenca Moracuani, 3,50 y 12,34 para subcuenca Aguas Negras, y, 4,16 y 21,61 para subcuenca Acarabisi.

Utilizando las superficies de las subcuencas del Coyuni y el volumen de sedimento anual por ellas producidos, se determinó que el costo de las presas de enrocado, por superficie y volumen controlado, fueron 6,28 USD/ha y 4,85 USD/m³ para la subcuenca Casacoima a Santa Catalina; 2,24 USD/ha y 1,97 USD/m³ para la subcuenca Río Grande; 3,09 USD/ha y 5,82 USD/m³ para la subcuenca Aguirre y, 1,00 USD/ha y 4,56 USD/m³ para la subcuenca Coyubuni.

Al ejecutar una regresión entre costos de mantenimiento de la calidad del agua versus superficie de las subcuencas y el volumen de sedimentos, se encontró que al incrementar una hectárea en la superficie de una subcuenca aportante de sedimentos, el costo se incrementa en 1,027 USD anualmente. Por otro lado, al incrementar un metro cúbico de sedimento aportante, el costo se incrementa en 2,87 USD por año.

Todos los resultados presentados anteriormente deben ser tomados como órdenes de magnitud debido a múltiples supuestos y limitaciones encontradas para formular las obras de control.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

La Reserva Forestal Imataca (RFI) es desde 1963 una de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) más extensas del territorio nacional. Se encuentra ubicada entre los estados Delta Amacuro y Bolívar, con una extensión que supera los 3,5 millones de hectáreas. Concentra una inmensa cantidad de recursos naturales, como una de las biodiversidades más ricas y variadas de América Latina, grandes reservas de agua dulce e ingentes reservas de minerales, principalmente oro; así como una población indígena que supera los 30.000 habitantes. Todas estas características hacen de la RFI un espacio vital que requiere de una ordenación forestal sustentable y de la conservación de sus bosques bajo una perspectiva ecosocial.

En el marco de la *Consultoría Protocolo para la Valoración Ambiental y Económica de la Reserva Forestal Imataca*, que forma parte del Proyecto *Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques en la Perspectiva Ecosocial*, se realizó una consulta de expertos a fin de priorizar los servicios ecosistémicos a ser valorados, resultando el mantenimiento de la calidad del agua uno de ellos. En este sentido, se consideran dos puntos de vista: el primero de ellos, relacionado con la afectación de la calidad del agua por la presencia de mercurio y otras especies contaminantes, producto de la actividad minera aurífera; y, por otra parte, por la contaminación de los cauces por efecto de los sedimentos producidos en las partes altas y medias de las trece subcuencas que surcan la RFI.

Por ello, se divide este capítulo en dos apartados fundamentales: el primero de ellos relacionados con la valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua: Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales provenientes de la Actividad Minera en la RFI. El mismo, tiene como objetivo principal realizar la valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua como servicio ecosistémico, particularmente asociado a la contaminación que puede darse por la liberación de mercurio producto del proceso de refinación o beneficio del oro.

Para alcanzar dicho objetivo, se determinó el nivel de contaminación que genera la actividad minera aurífera en la RFI, se formuló un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita mitigar la contaminación generada y se calcularon los costos de ese sistema de tratamiento, lo que permitió valorar este servicio ecosistémico a través del método de costos evitados.

Para la cuantificación de las liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca: se empleó la metodología desarrollada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), basada en la utilización de matrices de categorización y factores por defecto de entrada y de distribución de las salidas. Con este procedimiento, se determinó que, en la RFI, para el año 2017, se liberaron 26 450,00 kg Hg/año, distribuidos en 15 870,00 kg Hg/año liberados al aire; 5 290,00 kg Hg/año liberados al agua y 5 290,00 kg Hg/año liberados al suelo.

Por otro lado, se determinaron las aguas residuales provenientes de la actividad minera a depurar en el sistema de tratamiento propuesto para la RFI: estimada a partir de la transposición de datos de otros sistemas de explotación aurífera que operan bajo condiciones similares y de la cuantificación de la liberación de mercurio en el agua. Con ello, se determinó que en la RFI se generan en 8 120 m³/d. Por tanto, se propuso la construcción



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



de 25 PTAR para tratar toda el agua usada por la actividad minera de la RFI, lo que implicaría un caudal de operación (*Qoperac*) para cada una de 325 m³/d.

Se realizó un diseño preliminar del sistema de tratamiento propuesto para la depuración de las aguas residuales provenientes de la actividad minera en la RFI: se propuso un tren de tratamiento con las etapas de pretratamiento (rejillas de desbaste, el desarenador y el medidor de caudal), tratamiento primario (sedimentador primario) y tratamiento terciario (humedal construido de flujo subsuperficial horizontal, HFSSH). Con base en los diseños realizados por Centeno (2011), que dimensiona los equipos en función de la población servida, se tomó el dimensionamiento del sistema que opera entre 40 y 760 m³/d de agua servida.

Para llevar a cabo la valoración económica se identificó la hipótesis de partida, se formuló el modelo a través de la identificación, medición, valoración y ordenación de los costos asociados, arrojando un VPC de 549 400,87 USD y un CAE de 80 665,37 USD por año. Esto implica que el costo evitado será de 0,7 USD por m³ de agua tratada.

El segundo apartado, titulado Valoración Ambiental y Económica del Mantenimiento de la Calidad del Agua: Control de la producción de sedimentos en la RFI a través de presas de enrocado, también se desarrolló en función de tres pasos: identificar las subcuencas aportantes y la producción de sedimentos, diseñar presas de enrocado como sistemas para el control de la producción de sedimentos y valorar el mantenimiento de la calidad del agua a través del método de costos evitados.

Se identificaron trece (13) subcuencas aportantes, pertenecientes a las cuencas de los ríos Coyuní y Delta del río Orinoco. Se determinaron las áreas y los volúmenes de los sedimentos de las distintas subcuencas para formular las presas de enrocados por subcuenca. Se definieron las variables sobre las que se realizará la estimación del costo: para lo cual se empleó la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI).

Se estimaron los costos de las presas de enrocado para cada una de las subcuencas aportantes identificadas

Se asumió que los costos anuales de las presas de enrocado para cada subcuenca, representa el costo de la sedimentación actual en las mismas y por ende el costo del mantenimiento de la calidad del agua. A partir de esta premisa, se realiza la valoración económica del servicio ecosistémico. Finalmente, se realizó una regresión para demostrar que en la medida que se incrementa el área de las subcuencas y el volumen de sedimentos que ellas producen, se aumentan los costos anuales del mantenimiento de la calidad del agua. Luego, en la ecuación de la regresión, al derivar $d\text{costoanual mantenimiento}/d\text{superficie}$ indica que, por cada incremento de una ha de superficie de la subcuenca que contribuye a la sedimentación, el costo anual de mantenimiento se incrementa en 1,027 USD anualmente. Por otro lado, $d\text{costo anual de mantenimiento}/d\text{volumen sedimentos}$ señala que, por cada metro cúbico de sedimento anual que va al cauce de agua, los costos se incrementan en 2,81 USD anualmente.

Cabe destacar que la mayor limitación conseguida es la falta de acceso a la información oficial, lo que incide sobre la incertidumbre de los resultados reportados en el presente Informe.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Las principales conclusiones giran en torno a los siguientes aspectos:

- Las características de las RFI hacen que ésta sea un espacio vital que requiere de una ordenación forestal sustentable y de la conservación de sus bosques bajo una perspectiva ecosocial.
- La actividad minera artesanal o a pequeña y mediana escala se desarrolla a través de la explotación de aluviones, de coluviones, de eluviones y en balsa. En todos los casos, se emplea el mercurio como materia prima para la amalgamación en el proceso de recuperación o beneficio del oro.
- Durante el proceso de recuperación o beneficio del oro se libera mercurio al aire, agua y suelo, con la consecuente afectación a la salud humana y de los ecosistemas.
- La cuantificación de las liberaciones de mercurio permite definir el tren de tratamiento necesario y suficiente para procurar la depuración de las aguas residuales provenientes de la actividad minera.
- Otra de las variables a tomar en cuenta en la afectación de la calidad del agua de la RFI es la presencia de sedimentos en los cauces de los trece (13) ríos que conforman las subcuencas del Coyuní y del Delta del Orinoco.
- La construcción de presas de enrocado sometidas a flujo es la alternativa propuesta para realizar una efectiva retención de sedimentos y evitar las afectaciones aguas abajo.
- Se puede asumir que los costos anuales de las presas de enrocado para cada subcuenca, representa el costo de la sedimentación actual en las mismas y por ende el costo del mantenimiento de la calidad del agua.

Debido a las limitaciones encontradas a lo largo de la investigación, se recomienda, en primer lugar, la creación de registros oficiales para la generación de estadísticas confiables y accesibles: bases de datos de importaciones de mercurio y otras sustancias empleadas en la explotación aurífera; los mineros y sus formas de organización; la producción estimada y la producción real de oro; las cantidades de mercurio empleadas de forma mensual; entre otras variables que pueden y deben ser medidas de forma continua.

Aunado a ello, se recomienda ampliamente el fortalecimiento tanto de la investigación en materia ambiental para el sector minero, como en la formación de personal para la capacitación de los trabajadores.

Asimismo, realizar las investigaciones necesarias para determinar la erosión de las subcuencas y la sedimentación de los cauces de agua, en conjunto con la medición de la concentración de mercurio en el agua, suelo, aire, flora y fauna del área.

2. Marco teórico

Los bosques tropicales contribuyen a la regulación de la erosión y de la calidad del agua. Cuando una gran cantidad de lluvia escurre superficialmente, ésta puede arrastrar a su paso una proporción importante del suelo. Los sedimentos arrastrados llegan a los ríos, reduciendo la calidad de su agua; éstos también pueden ser arrastrados hasta la boca del río y a las costas, reduciendo también la calidad del agua de los estuarios y del mar (Conte *et al.* 2011).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



ASEMAFOR (s/f) señala que las aguas de los bosques se caracterizan por un bajo contenido de elementos contaminantes, determinado por: la capacidad de absorción de nitratos y de otros elementos; la fijación de sustancias en el suelo, determinada por el aporte de materia orgánica; y la capacidad de las copas de fijar y filtrar los depósitos atmosféricos. La acción de la cubierta forestal que determina el impacto de las gotas de lluvia, el tipo y la cantidad de materia orgánica que afecta la capacidad de absorción y el desarrollo radicular que aumenta la porosidad del suelo, permiten reducir la erosión y por lo tanto, la turbiedad de las aguas, aumentando la calidad del recurso. La magnitud de la reducción del contenido de contaminantes y la turbiedad de las aguas, pueden ser afectadas por características como la especie, el desarrollo foliar y radicular. Sin embargo, en ciertos casos el medio forestal puede tener una influencia sobre la acidez de los suelos y entonces del agua. Esto principalmente cuando se trata de bosques adaptados a medios ácidos que han sido perturbados por explotaciones sucesivas que empobrecen los suelos y por lo tanto la capacidad del ecosistema de absorber los elementos contaminantes. <https://www.asemafor.cl/servicios-ecosistemicos-de-los-bosques-para-el-agua/>

ASEMAFOR (s/f) también dice, citando a Marty y Bertrand (2011) que la aplicación de la gestión adaptada al mejoramiento de la calidad del agua potable permite generar principalmente 4 impactos positivos o “beneficios” identificados por la literatura (Marty y Bertrand, 2011) se corresponden con: A. Limitar los riesgos de aporte de contaminantes, B. Limitar los riesgos de turbiedad de las aguas, C. Favorecer el rol filtro del bosque y D. Mejorar el balance hídrico del suelo y las aguas subterráneas. Por otra parte, esta investigación nos ha permitido identificar 4 impactos negativos o “costos” que pueden ser atribuidos a la aplicación de este tipo de gestión (cambio de prácticas silvícolas o de explotación) que tiene por objetivo mejorar la calidad del agua. Estos impactos corresponden a: 1. La reducción de la calidad de productos leñosos, 2. La reducción de la cantidad de productos leñosos, 3. El aumento de costos directos (instalaciones, tecnología, materiales, etc.), 4. El aumento de los costos de mano de obra o de personal especializado.

En este marco teórico se resume una descripción del método de costos evitados, se describe el principal efecto de la contaminación por mercurio en las aguas, así mismo, los efectos de la contaminación por sedimentos en el agua y se proporcionan unas cifras del valor económico del mantenimiento de la calidad del agua.

2.1. Método de los costos evitados o inducidos

Es un método que determina el coste para evitar un efecto ambiental que sea perjudicial para las personas o para su entorno. Estos costes defensivos reflejan la cantidad que esas personas están dispuestas a pagar (WTP) para eludir esos efectos (contaminación del agua o del aire).

Sirve para calcular valor de uso directo, valor de uso indirecto y valor de opción.

Se usa en bienes o servicios ambientales que no se comercializan en el mercado.

El método asume que las personas van a invertir en medidas para conservar los servicios ecosistémicos. El costo de esas medidas puede representar estimaciones útiles del valor del servicio ecosistémico.

El enfoque de los costos evitados asume que la determinación de estos refleja en cierta manera el valor de un impacto ambiental a evitar, por ejemplo, la degradación del agua. Es



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



decir, que el valor de un impacto ambiental está determinado por los costos que se incurre actual o potencialmente para prevenir el mismo.

En términos generales, la estimación por costos evitados va usar los siguientes gastos:

- Costos de inversión: los cuales son necesarios para construir la medida de control ambiental.
- Costos de operación y mantenimiento: estos representan las erogaciones para operar la medida y su mantenimiento.
- Costos de administración: son los gastos fijos para administrar al proyecto.
- Costos de las medidas de la propia medida: estos representan los costos para controlar los impactos ambientales de la propia medida.
- Costos de oportunidad: representan los ingresos sacrificados al seleccionar la medida a realizar.
- Costos de seguridad: son aquellos que permiten la provisión del recurso natural si es el caso, que se va usar en una medida.

Un punto importante para resaltar es si la valoración del impacto refleja el costo de la medida más el costo de las pérdidas a la sociedad, o si solo refleja alguna de las dos. Al realizar la valoración debe indicarse bajo cual óptica se está haciendo el análisis. En términos teóricos debe tener los dos costos. Sin embargo, por efectos de tiempo, disponibilidad de información y presupuesto, en la mayoría de los casos se hace una de las dos, preferiblemente el del costo de la medida.

Los indicadores más importantes para usar con estas técnicas basadas en costos son el Valor Presente de los Costos, VPC y el Costo Anual Equivalente, CAE.

El valor encontrado con esta técnica refleja un valor mínimo del servicio ecosistémico, pues los gastos van a estar restringidos por razones de ingreso para los consumidores o presupuestarias para los productores.

El principal supuesto de la técnica es que los costos determinados de la medida son confiables. Por otro lado, se parte del hecho de que el impacto ambiental a causar sobre el servicio ecosistémico tiene efectos de cambio en la oferta de insumos usado para procesos de producción. Un ejemplo clásico son los procesos de explotación aurífera que acarrear la producción de sedimentos y otros contaminantes que afectan la calidad del agua, trayendo como consecuencia una merma en la disponibilidad para su uso en proyectos agrícolas, ganaderos, industrial, doméstico, recreación, hidroeléctrico, entre otros.

La premisa es que el servicio ecosistémico degradado forma parte de los insumos utilizados en el proceso de producción de las empresas y que por lo tanto cualquier cambio en la calidad o cantidad provista por el ambiente provocará un cambio en el nivel de producción o en el nivel de costo de la empresa para usar el bien ambiental.

Para la aplicación de la técnica pueden usarse funciones de producción o valoración directa del costo de las medidas que evitarán la degradación del servicio ecosistémico.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2.2. Efecto de la contaminación del mercurio en las aguas

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático, debido a que el metilmercurio (toxina muy potente para el pescado) con el tiempo se acumula en la vida acuática en concentraciones y niveles más elevados

2.3. Efecto de la contaminación por sedimentos en el agua

Los sedimentos que el agua de lluvia recoge al escurrirse degradan la calidad del agua para el consumo humano, para la vida silvestre y para el suelo que rodea los arroyos de la siguiente manera: Los sedimentos se acumulan en los desagües pluviales y sumideros que transportan el agua lejos de las calles y las viviendas, lo que aumenta el potencial de inundaciones.

El agua contaminada con sedimentos se torna turbia, lo que impide que los animales puedan ver el alimento. El agua turbia impide el crecimiento de vegetación natural en el agua. Los sedimentos que se depositan en el lecho de los arroyos alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones de peces.

Los sedimentos aumentan el costo del tratamiento del agua potable y pueden causar problemas de olor y sabor. Los sedimentos pueden obstruir las agallas de los peces, lo que reduce su resistencia a enfermedades, disminuye los índices de crecimiento y afecta el desarrollo de huevos y larvas. Los nutrientes transportados por los sedimentos pueden activar a las algas verde azuladas que liberan toxinas y pueden enfermar a los nadadores. Los depósitos de sedimentos en los ríos pueden alterar el caudal de agua y reducir la profundidad de esta, lo que dificulta la navegación y el esparcimiento en el agua.

Desde el punto de vista físico:

Los altos niveles de turbidez limitan la penetración de la luz solar en la columna de agua, lo que limita o impide el crecimiento de las algas y de las plantas acuáticas enraizadas. En los ríos que son zonas de desove, los lechos de grava están cubiertos por sedimentos finos que impiden o dificultan el desove de los peces. En ambos casos, el resultado es la perturbación del ecosistema acuático debido a la destrucción del hábitat. A pesar de estos efectos nocivos, el estado hipertrófico (rico en nutrientes) de muchos lagos de aguas poco profundas, sobre todo en los países en desarrollo, daría lugar a un inmenso crecimiento de las algas y plantas enraizadas si no fuera por el efecto limitador de la extinción de la luz debido a la fuerte turbidez. En este sentido, la turbidez puede ser "beneficiosa" en los lagos muy eutróficos; no obstante, muchos países reconocen que esta situación es perjudicial por razones estéticas y económicas y están buscando los medios de reducir la turbidez y los niveles de nutrientes.

Los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje. Por ejemplo, según cálculos de UFRGS (1991) sobre la erosión y transporte de sedimentos en la cuenca del río Sao Francisco, gran sistema de drenaje del Brasil oriental, la parte central de la cuenca fluvial está ahora dominada por la deposición de sedimentos. Ello ha provocado una grave perturbación del transporte fluvial y obstrucciones en los servicios hidráulicos que se han construido para suministrar agua de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



riego desde el cauce principal del río. Los sedimentos proceden en gran parte de la rápida erosión de las subcuencas como consecuencia de prácticas agrícolas poco acertadas.

Desde el punto de vista químico:

La contribución de los sedimentos a la contaminación química está vinculada al tamaño de las partículas de los sedimentos y al volumen del carbono orgánico en partículas asociado con los sedimentos. Se suele considerar que la fracción químicamente activa de un sedimento es la que mide menos de 63 μ m (limo + arcilla). En el caso del fósforo y los metales, el tamaño de las partículas es de importancia decisiva, debido a la gran superficie externa de las partículas muy pequeñas. El fósforo y los metales suelen tener fuerte atracción a los lugares de intercambio de iones, que están asociados con las partículas de arcilla y con los recubrimientos de hierro y manganeso que se dan normalmente en estas partículas pequeñas.

Muchos de los contaminantes persistentes, bioacumulados y tóxicos, especialmente los compuestos clorados incluidos en muchos plaguicidas, están fuertemente asociados con los sedimentos y en especial con el carbono orgánico transportado como parte de la carga de sedimentos de los ríos. La cuantificación del transporte de fósforo en América del Norte y Europa revela que hasta el 90 por ciento del total del flujo de fósforo de los ríos puede estar asociado con los sedimentos en suspensión.

La afinidad de un producto químico orgánico hacia las partículas se describe en función de su coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}). Este coeficiente se conoce bastante bien en la mayor parte de los productos químicos y es la base para prever el destino ambiental de los productos químicos orgánicos. Los productos químicos con bajos valores de K_{ow} son fácilmente solubles, mientras que los que tienen valores altos de K_{ow} se califican como "hidrofóbicos" y suelen estar asociados con partículas. Los compuestos clorados, como el DDT y otros plaguicidas, son muy hidrofóbicos y, por consiguiente, no se analizan fácilmente en las muestras de agua debido a la muy baja solubilidad del producto químico. En los productos químicos orgánicos, el componente más importante de la carga de sedimentos parece ser la parte de carbono orgánico en partículas transportada en el sedimento. Los científicos han perfeccionado el coeficiente de partición para describir la asociación con la parte de carbono orgánico (K_{oc}).

2.4. Valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua

Fernández (2006) encontró que el valor económico de la calidad del agua es pequeño, de 1 133 042,62 pesos al año (365,5 USD) para una mejora de 1%.

Salazar y otros (2009) encontraron que, a través de la agregación de las valoraciones individuales, usando valoración contingente, se ha obtenido una estimación monetaria de los beneficios sociales derivados de una mejora hipotética de la calidad del agua del río Serpis. En función de la aproximación elegida, y de los supuestos específicos de agregación considerados, estos beneficios tendrían un valor mínimo de 133,9 millones de euros y un valor máximo de 525,7 millones de euros.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3. Metodología

Para ejecutar la valoración ambiental y económica del servicio ecosistémico de mantenimiento de la calidad del agua, la metodología se abordó desde dos puntos de vista: el primero de ellos, relacionado con la afectación de la calidad del agua por la presencia de mercurio y otras especies contaminantes, producto de la actividad minera aurífera; y, por otra parte, por la contaminación de los cauces por efecto de los sedimentos producidos en las partes altas y medias de las trece subcuencas que surcan la RFI.

Para el primer punto de vista se formuló un sistema de tratamiento de aguas residuales que permitieran mitigar la contaminación generada por mercurio y otros contaminantes, luego conocer los costos de ese sistema, lo que permitió valorar este servicio ecosistémico a través del método de costos evitados.

Para el segundo punto de vista, se identificaron las subcuencas aportantes y la producción de sedimentos en la RFI, se formularon presas de enrocado como sistemas para el control de la contaminación por sedimentos a los cursos de agua, y con base en los costos de las presas, se valoró el servicio ecosistémico.

Los pasos seguidos para el primer punto de vista fueron: una descripción de los elementos propuestos del Sistema para el Tratamiento de las Aguas Residuales provenientes de la Actividad Minera Aurífera, una descripción y predimensionamiento del Humedal Construido de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSSH) seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales producto de la Actividad Minera Aurífera en la RFI, una estimación de los costos de inversión inicial, administrativos, de operación y mantenimiento de la PTAR propuesta que usa el sistema HFSSH y, con base en lo anterior, ejecutar la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua de la RFI.

Para el segundo punto de vista, los pasos seguidos fueron: una descripción general e historia de las presas de enrocado, una descripción de los criterios para el dimensionamiento de presas de enrocado sometidas a flujo, luego se determinó la cantidad de sedimentos que deberían ser atrapados, luego se proponen las bases para la estimación del costo de las presas de enrocado y, finalmente, se estiman los costos de las presas de enrocado para las diferentes subcuencas de la Reserva Forestal de Imataca. Este último punto fue la base para ejecutar la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua de la RFI.

En los hallazgos y resultados se realiza una descripción pormenorizada de cada punto señalado anteriormente en la metodología.

4. Limitaciones

Se ha señalado que el objetivo del primer punto de vista fue realizar la valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua que son receptores de las aguas residuales provenientes de la actividad minera aurífera en la RFI, cuyo principal contaminante es el mercurio utilizado en la extracción del oro, dada su capacidad de formar amalgamas con este metal precioso.

Aun cuando se realizó una estimación de la cuantificación de las liberaciones de mercurio producto de esta actividad, es importante señalar que la principal limitante que se presentó



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



fue la falta de información actualizada oficial en torno a variables fundamentales para llevar a cabo estas determinaciones.

En este sentido, aun cuando se cuenta con información acerca de las Autorizaciones de Ocupación de Territorio (AOT) recientemente aprobadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, de 2019, no se encontró información sobre la cantidad de menas de oro procesadas; la cantidad real total de mineros que trabajan en el oficio –sin embargo Benavides (2017) presenta algunas cifras estimadas, señaladas en el apartado dedicado a los procesos artesanales de producción de oro–; la cantidad de mineros que usan retortas o la cantidad de mineral extraído de los concentrados; todo esto deriva sobre la falta de información de la cantidad real de agua empleada en los sistemas de explotación de oro, tanto a nivel artesanal como a nivel industrial.

Asimismo, tampoco se conocen cifras históricas de mercurio importado ni valores puntuales de cantidades de mercurio emitido al ambiente o perdido durante el proceso de beneficio de oro, así como tampoco las cantidades de mercurio empleados en industrias como las de cloro álcali, productos químicos básicos, producción de plásticos, caucho y productos químicos para la agricultura, uso dental y análisis químico. La carencia de esta información no permite realizar análisis tendenciales del comportamiento de esta variable, y, por tanto, establecer escenarios de comparación con respecto al beneficio ambiental y económico que puede obtenerse al implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la actividad minera.

Estas limitaciones de información han obligado a utilizar valores estimados y factores por defecto definidos por la metodología empleada.

Por otra parte, debido al alto grado de incertidumbre de la información faltante, se procede a presentar un diseño preliminar de las unidades de tratamiento de las aguas residuales con sus costos, en función del caudal estimado a tratar.

Otra limitante fueron los costos usados, los cuales fueron extraídos de revisión bibliográfica, debido a la falta de información de tales costos a nivel nacional.

Para el segundo punto de vista, las limitaciones tienen que ver con la incertidumbre del cálculo de la producción de sedimentos en las subcuencas de la RFI; así como, en los costos de las obras de enrocado.

5. Hallazgos y resultados

5.1 Valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua usando el sistema propuesto para el tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad minera aurífera en la RFI

Para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la actividad minera aurífera en la RFI, se propone la utilización de sistemas no tradicionales, como los humedales construidos, bajo técnicas de fitorremediación, ya que presentan una serie de ventajas sobre los otros sistemas. En el anexo 12.1 se describe la actividad aurífera en la RFI.

Espinosa (2005) define al humedal construido como “un complejo sistema compuesto de agua, sustrato, plantas (vasculares y algas), restos vegetales (principalmente material vegetal

caído de las plantas), invertebrados (principalmente insectos de larvas y gusanos) y una compleja fauna microbiana (los más importantes son las bacterias).” (p. 12) Así, los humedales construidos tratan de imitar las condiciones óptimas de tratamiento presentes en los humedales naturales, y pueden ser de dos tipos: Humedales de flujo libre superficial (HFSL) y Humedales de flujo subsuperficial (HFS), que a su vez pueden ser HFS con flujo horizontal (HFSSH) o con flujo vertical (HFSSV).

Por las ventajas que presenta, se selecciona un sistema de tratamiento constituido por un Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal (HFSSH).

El tren de tratamiento estaría conformado por las siguientes etapas (figura 12.1):



Figura 12.1. Esquema adoptado para una PTAR con un sistema de humedales de flujo subsuperficial horizontal

Fuente: Tomado de Centeno (2011), adaptado de Sperling (2004)

5.1.1. Elementos de las Etapas del Sistema Propuesto para el Tratamiento de las Aguas Residuales provenientes de la Actividad Minera Aurífera

5.1.1.1 Elementos del sistema en la etapa de Pretratamiento:

En esta fase ocurren los tratamientos físicos, que buscan eliminar las partículas y materias más gruesas, como piedras, arenas y cualquier objeto que traigan las aguas residuales que puedan afectar el buen funcionamiento de los elementos depuradores posteriores (Centeno, 2011). Básicamente, se requerirían las rejillas de desbaste, el desarenador y el medidor de caudal.

5.1.1.2. Elementos del sistema en la etapa de Tratamiento Primario:

En el tratamiento primario o físico se busca disminuir los sólidos suspendidos que arrastra el agua. De allí que se incluiría un sedimentador primario para cumplir con esta fase del tratamiento.

5.1.1.3. Elementos del sistema en la etapa de Tratamiento Secundario:

Por las características del efluente a tratar, no se incorporarán elementos para el tratamiento secundario.

5.1.1.4. Elementos del sistema en la etapa de Tratamiento Terciario:

Se plantea la construcción y operación de un sistema no convencional como el humedal construido, específicamente Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSSH).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Para el diseño, operación y mantenimiento de los HFSSH, se tomarán en cuenta las recomendaciones y criterios relacionados con la selección de la vegetación, los elementos constructivos, las variables hidroclimáticas de la zona, los aspectos de mantenimiento y control, entre otros, disponibles en la bibliografía.

5.1.2. Humedal Construido de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSSH) seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad minera aurífera en la RFI

5.1.2.1. Consideraciones generales

A partir de pruebas experimentales y mediciones en campo de sistemas de explotación minera aurífera que operan bajo condiciones similares a los encontrados en la RFI, que utilizan amalgamación con mercurio, se procedió a trasponer la información, a fin de determinar la carga y demás condiciones de operación preliminares para el sistema HFSSH propuesto para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de esta actividad en el área de estudio (Anexo 12.2)

En este sentido, la determinación de la carga de aguas residuales a ser tratada por el HFSSH propuesto, se realizará a partir de las siguientes **Premisas**:

- En Atacama, Chile, "una planta concentradora que procesa 100 000 tpd de mineral, y que espesa sus relaves a 55% de sólidos, descarta junto con sus relaves la no poca significativa cantidad de agua de 81 800 m³/día." (Grupo Editorial Editec SPA, 2013)
- En Perú, la recuperación de oro fino o en escamas, (actividad minera aurífera de tipo aluvial) se lleva a cabo como flujo del material en canaletas o *sluices*, en donde una fina capa se hace fluir "con suficiente agua para evitar la compactación de la arena atrapada detrás de los rifles. La cantidad de agua utilizada varía generalmente entre 30 m³ a 180 m³ según se trate de grava o material fino respectivamente." (Díaz, s/f y Floress/f)
- Otra tecnología empleada en Perú, son los concentradores de espirales, como los modelos Humphrey y Reichert, que operan con una alimentación sobre 3 t/h de sólidos con un flujo de agua empleado de 3,5 a 7,5 m³/h. (Flores s/f)
- Tomando como base un día de operación, se tendrá un manejo de 72 t/d de sólidos, con un flujo de agua entre 84 a 180 m³/d para el equipo nombrado anteriormente. (Cálculos propios)
- Los canales, canaletas o *sluices* forman parte de las tecnologías más simples y requieren para su operación una menor cantidad de agua. Además, son las de uso más extendido entre los mineros artesanales en la RFI. (Varios autores)
- Dado que no se cuenta con información específica del uso de agua, ni con la cantidad de residuales generados (relaves) en la RFI, se consideran las pruebas con gravas auríferas de una mina ubicada a 15 km de Puerto Maldonado en el lecho del río Madre de Dios, en Perú, que permitieron determinar la concentración gravimétrica y de amalgamación. (Azañero, 1998). Los resultados de estas concentraciones se presentan en la Tabla 12.1 a continuación:

Tabla 12.1. Concentración gravimétrica y amalgamación

Producto	SubProd.	Peso	Peso %	Ley: oz/TC Au	Distrib. % Au
Concentrado	Amalgama	636 mg	--	--	68,84
	Residuo - Conc	1,6 kg	0,21	0,045	0,28
Relave	Amalgama	95,9 mg	--	--	10,36
	Residuo - Rel	786,7 kg	99,79	0,007	20,52
Cab. Cal		788,3 kg	100,5	0,034	100,00

Fuente: Azañero, 1998.

- De estos datos experimentales, se tiene que el Relave está conformado, en peso, por Amalgama 95,9 mg, -de los cuales 10,89% es oro (9,94 mg Au) y 89,64% es mercurio (85,96 mg Hg)-, mientras que 786,7 kg es Residual. (Azañero, 1998)
- Asimismo, estos datos experimentales señalan que el Residual contiene 0,007 Ley, lo que representa Au_{En el residual} de 0,24 g Au / TM. (Azañero, 1998). En este sentido, se tomará esta concentración de oro en el Residual para los cálculos subsiguientes.
- Asimismo, como este Au_{En el residual} representa el 20,52% de todo el Au extraído, se tiene que por cada tonelada métrica de material habrá entonces 1,1696 g Au/TM de relave.
- Por otra parte, la cantidad de mercurio a tratar será aquél considerado como arrastrado por las aguas, según los cálculos realizados en el anexo 5 del informe de avance 5, que se corresponde con 5 290,0 kg Hg/año, que llevado a una base de un día de operación será:

$$5\ 290 \frac{\text{kg Hg}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \times \frac{1\ 000 \text{ g Hg}}{1 \text{ kg Hg}} = 14\ 493,1 \frac{\text{g Hg}}{\text{d}} \quad (\text{ecuación 12.1})$$

- En este orden de ideas, considerando la relación 2:1 utilizada para la cuantificación de Hg en la actividad minera en la RFI, se tendría que la cantidad de Hg presente será 2,339 g Hg/TM relave. Este es el mercurio presente en 786,7 kg de residual.
- A partir de la evaluación de desempeño de humedales construidos para la remoción de metales, la tendencia de la remoción de mercurio en estos sistemas en promedio es de 50% para los que contiene cepas bacterianas convencionales (RCC) y de 60% para los inoculados con bacterias tolerantes (RCT). (Amábilis-Sosa *et al*, 2015)

En torno a las premisas consideradas anteriormente, y una vez determinado el Hg en los relaves, se puede estimar el flujo másico diario de residuales en la RFI ($X_{\text{Residuales RFI}}$), aproximando la composición de los Residuales en la RFI a los que se encuentran en Madre de Dios:

$$X_{\text{Residuales RFI}} = 14\ 493,1 \frac{\text{g Hg}_{\text{Resid RFI}}}{\text{d}} \times \frac{786,7 \text{ kg}_{\text{Resid MD}}}{2,339 \text{ g Hg}_{\text{Resid MD}}} = 4\ 872\ 530 \text{ kg Resid} \quad (\text{ecuación 12.2})$$



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



5.1.2.2. Determinación de la Carga de AR para el HFSSH propuesto

Para estimar la cantidad de agua que deberá ser tratada en el sistema HFSSH propuesto, se toma un valor promedio entre el agua reportada como utilizada por la actividad minera en Atacama (Editec, SPA 2013) y la utilizada en la actividad por los concentradores espirales descritos por Flores (s/f), expresando ambos sobre una base de diaria de operación de 72 ton/d de material, ya que para este valor se reporta con certeza la cantidad de agua usada (Flores, s/f).

Así, se tendrá entonces que, para el caso de Atacama, con 72 ton/d de material, van al efluente 59 m³/d; y para las minas de Perú que usan concentradores espirales, tomando el valor más alto del efluente, 180 m³/d. Ahora bien, el valor promedio resulta en 120 m³/d.

Luego, el agua usada en la Reserva ($X_{\text{Agua usada RFI}}$) será:

$$X_{\text{Agua usada RFI}} = 4\,872\,530 \text{ kg Resid} \times \frac{120 \text{ m}^3 \text{ Agua}}{72\,000 \text{ kg Resid}} = 8\,120 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (ecuación 12.3)}$$

Y, la concentración de este efluente ($\text{Conc Hg}_{\text{efluente}}$), con base en 1 día de operación, es de:

$$\text{Conc Hg}_{\text{efluente}} = \frac{14\,493,1 \text{ g Hg}}{8\,120 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}} = 1,78 \frac{\text{g Hg}}{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}} \text{ (ecuación 12.4)}$$

Partiendo de la tendencia de remoción de mercurio en los sistemas de humedales construidos, se espera que el humedal propuesto en el presente Proyecto permita una concentración final del efluente de $0,89 \frac{\text{g Hg}}{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}}$ ó $0,00089 \frac{\text{kg Hg}}{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}}$.

Luego, se propone la construcción de 25 PTAR para tratar toda el agua usada por la actividad minera de la RFI, lo que implicaría un caudal de operación (Q_{operac}) para cada una de:

$$Q_{\text{operac}} = \frac{8\,120 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{25 \text{ PTAR}} \cong 325 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (ecuación 12.5)}$$

A partir de estos valores obtenidos, se puede entonces predimensionar cada una de las plantas y así estimar sus costos de inversión, operación, mantenimiento y administrativos.

5.1.2.3. Predimensionamiento de cada PTAR usando el sistema HFSSH

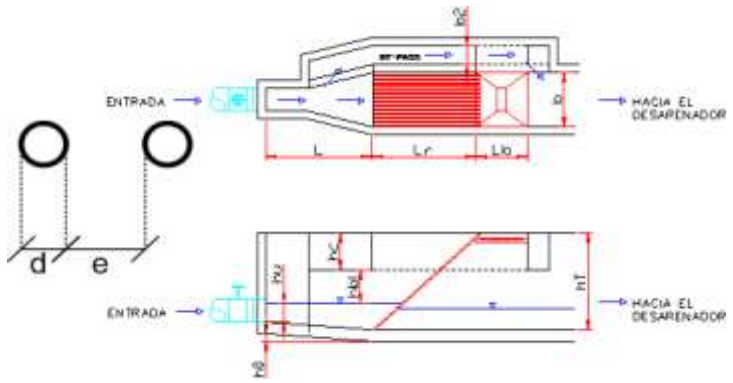
5.1.2.3.1. Consideraciones generales

Con base en los diseños realizados por Centeno (2011), que dimensiona los equipos en función de la población servida, se tomó el dimensionamiento del sistema que opera entre 40 y 760 m³/d de agua servida, dado que cada una de las unidades propuestas en el presente Proyecto espera operar con un caudal promedio de 325 m³/d.

5.1.2.3.2. Características del predimensionamiento de cada PTAR

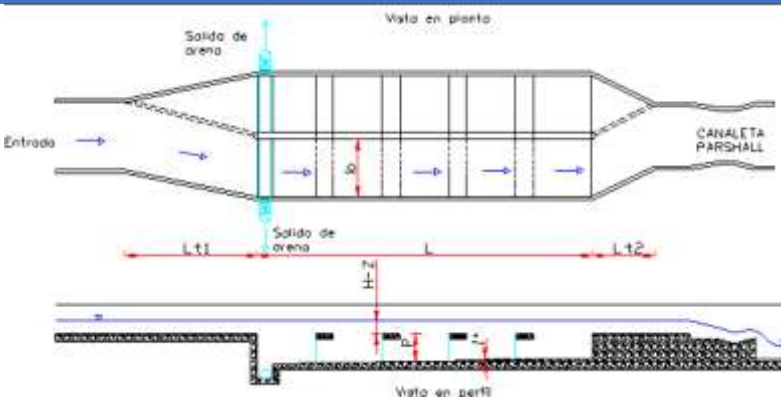
Los resultados se presentan en las tablas 12.2 a 12.6, siguientes:

Tabla 12.2. Características del pretratamiento – Caja de Rejas

Característica		Valor	
			
d (cm)	1,27	b2 (m)	0,15
e (cm)	2,5	ho (m)	0,18
L (m)	1,35	hu (m)	0,17
Lf (m)	0,7	hb (m)	0,2
Lb (m)	0,3	hc (m)	0,3
B (m)	0,155	ht (m)	0,7
Acumulación de sólidos (l/d)			4

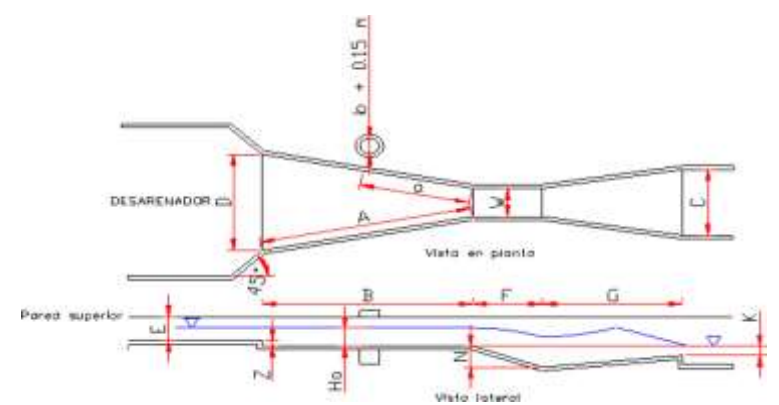
Fuente: Tomado de Centeno (2011)

Tabla 12.3. Características del pretratamiento – Desarenador

Característica		Valor	
			
N° unidades	2	P (m)	0,29
b (m)	0,22	H – Z (m)	0,05
L (m)	5,5	htotal (m)	0,45
Lt1 (m)	1,14	Acum sólidos (l/d)	0,02
Lt2 (m)	0,9	Intervalo limpieza (d)	15

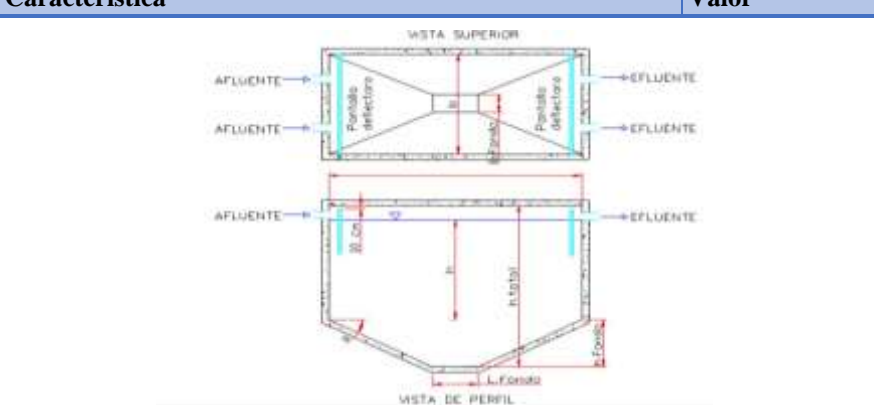
Fuente: Tomado de Centeno (2011)

Tabla 12.4. Características del pretratamiento – Canaleta Parshall

Característica		Valor	
			
W (cm)	7,6	G (cm)	30,5
A (cm)	4,7	K (cm)	2,5
a (cm)	31,1	C (cm)	17,8
B (cm)	45,7	D (cm)	25,9
E (cm)	45,7	N (cm)	5,7
F (cm)	15,2	Z (cm)	1,5

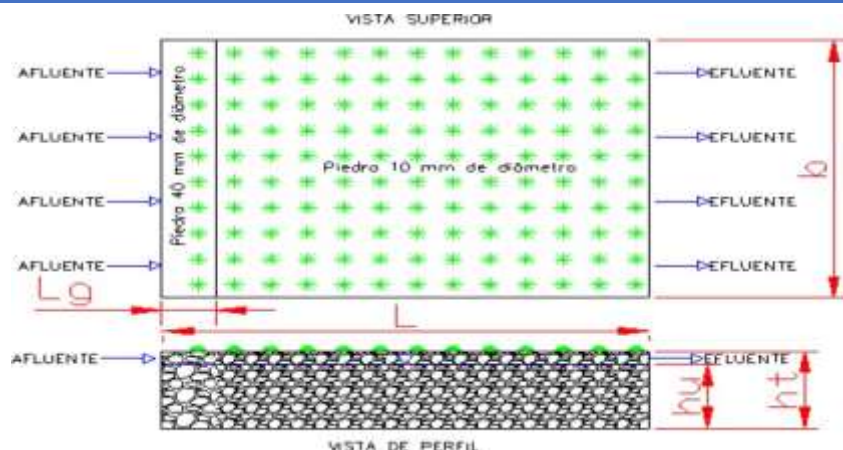
Fuente: Tomado de Centeno (2011)

Tabla 12.5. Características del pretratamiento – Sedimentador

Característica		Valor	
			
N° unidades	2	L (m)	8
h (m)	2,5	Lfondo (m)	4
hb (m)	0,3	bfondo (m)	1,6
htotal (m)	3,95	hfondo (m)	1,15
b (m)	3,2	a (*)	30

Fuente: Tomado de Centeno (2011)

Tabla 12.6: Características del tratamiento – Humedal

Característica		Valor	
			
N° unidades	2	L (m)	26,7
hu (m)	0,5	Lg (m)	3
ht (m)	0,65	V 25 mm mat filtrante total (m ³)	78
b (m)	20	V 10 mm mat filtrante total (m ³)	616,2

Fuente: Tomado de Centeno (2011)

5.1.3. Estimación de los costos de inversión inicial, administrativos, de operación y mantenimiento de la PTAR propuesta que usa el sistema HFSSH

5.1.3.1. Consideraciones Generales

- Los principales elementos que se incluyen en los costos de inversión de los humedales son el "costo del terreno, la evaluación del sitio, la limpieza de este, la movilización de suelos, el recubrimiento, el medio de sembrado, las plantas, las estructuras de entrada y descarga, las cercas, tuberías misceláneas, la ingeniería, los costos legales, las contingencias, y los gastos fijos y ganancia del contratista". (EPA, 2000)
- En este apartado se presentan los costos de inversión inicial y los costos de operación, mantenimiento y administrativos, según los cálculos elaborados por Centeno (2011) correspondientes a las características del sistema presentado.
- Centeno (2011) define para la mayoría de los costos un límite inferior y uno superior. Para el límite inferior "se consideró un precio mínimo de la actividad correspondiente y un precio en condiciones muy favorables, además de una cantidad de trabajo menor", y para el límite superior, "se consideró una cantidad máxima de trabajo, a un costo desfavorable o alto, y una cantidad de trabajo menor".
- Los costos indirectos se estimaron como un 30% de los costos directos.
- La determinación de los costos administrativos, se circunscribe a los gastos de personal relacionados con administración, operación y mantenimiento. En este sentido, Centeno (2011) señala que para el Sistema de Humedales que manejan los efluentes de una población menor de 10 000 habitantes, sólo se requieren, básicamente: 1 guardia o



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



vigilante, 1 operador del turno 08-16 horas y un obrero peón. Además, indica que “los salarios del personal se estimaron de acuerdo con la lista de salarios mínimos del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (Costa Rica), para el Segundo Semestre del 2010”.

- Por otro lado, los costos de mantenimiento se estimaron anualmente, y para ello se consideraron las recomendaciones de Wagner (2010), tabla 12.7:

Tabla 12.7. Estimación de los costos de mantenimiento

Obra	Estimación del costo
Obra gris	0,7% anual de la inversión inicial
Equipo mecánico (bombas, tubería, otros)	2% anual de la inversión inicial
Aireación (compresores, difusores y tuberías)	3% anual de la inversión inicial
Mantenimiento de los taludes	0,2% anual de la inversión inicial

Fuente: Adaptado de Wagner (2010) citado por Centeno, 2011.

- A fin de realizar la Valoración Económica del sistema de tratamiento, se hicieron las siguientes consideraciones:
 - El tiempo de vida útil se estima en $n = 15$ años.
 - Se calcularon valores promedio de los costos presentados por Centeno (2011).
- Los factores adicionales al costo económico que deberían tomarse en cuenta a la hora de seleccionar una tecnología de tratamiento se pueden resumir en: eficiencia de la remoción de contaminantes, independencia de factores ambientales para un buen desempeño, problemas ambientales y aspectos estéticos.

5.1.3.2. Costos de Inversión Inicial

Para la determinación de los costos directos se toman en cuenta las siguientes actividades: trazado, demarcación, movimientos de tierra, obra gris, tuberías y elementos mecánicos, y otros.

La Tabla 12.8 presenta los costos directos e indirectos estimados para el sistema de tratamiento propuesto.

Tabla 12.8. Costos Directos e Indirectos Estimados para Sistemas de Humedales (USD)

Costos Directos	Máx.	Mín.	Promedio
Obras preliminares y movimientos de tierra	29 098,00	9 805,00	19 451,50
Conformación de taludes y fondo	5 851,00	3 593,00	4 722,00
Obra gris	83 853,00	59 598,00	71 725,50
Equipo mecánico	71 789,00	58 906,00	65 347,50
Otros	81 739,00	36 345,00	59 042,00
Costos indirectos (30% de los costos directos)	81 699,00	50 474,00	66 086,50
Total	354 029,00	218 722,00	286 375,50

Fuente: Tomado y Adaptado de Centeno, 2011.

5.1.3.3. Costos Administrativos

Tal como se ha señalado, los costos administrativos se circunscriben a los pagos de personal calculados por Centeno (2011) con base en los valores que maneja el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica. La Tabla 12.9 presenta los cálculos resultantes.

Tabla 12.9. Costos Administrativos anuales (USD)

Costos de Administrativos Anuales (USD)	Máx.	Mín.	Promedio
Planilla (Personal)	33 108,00	25 464,00	29 286,00

Fuente: Tomado, Adaptado y Calculado a partir de Centeno, 2011.

5.1.3.4. Costos de Operación y Mantenimiento

Para la estimación de los costos de operación de la PTAR, Centeno (2011) toma en cuenta los siguientes elementos: energía (bombas, compresores, iluminación), eliminación de residuos, pruebas de laboratorio, otros. La Tabla 12.10 presenta los costos de operación anuales.

Asimismo, Centeno (2011) determina los costos de mantenimiento a partir de las recomendaciones de Wagner (2010). En la Tabla 12.11, se cuantifican estos costos de mantenimiento.

Tabla 12.10. Costos de operación anual (USD)

Costos de Operación Anual (USD)	Máx.	Mín.	Promedio
Energía	12,00	12,00	12,00
Eliminación de residuos	216,00	84,00	150,00
Pruebas de laboratorio	6 576,00	6 576,00	6 576,00
Otros	624,00	624,00	624,00
Total	7 428,00	7 296,00	7 362,00

Fuente: Calculado a partir de Centeno, 2011.

Tabla 12.11. Costos de anuales de mantenimiento (USD)

Costos Anuales de Mantenimiento (USD)	Máx.	Mín.	Promedio
Obra gris (0,7% anual de la inversión inicial)	828,00	480,00	654,00
Equipo mecánico (2% anual de la inversión inicial)	1 436,00	1 178,00	1 307,00
Taludes (0,2% de la inversión inicial)	12,00	7,00	9,50
Total	2 275,00	1 665,00	1 970,50

Fuente: Tomado y Adaptado de Centeno, 2011.

5.1.3.5. Resumen de Costos

Finalmente, se presenta en la Tabla 12.12, un resumen de los costos estimados, recordando que los Costos de Inversión son para el año cero (0), mientras que los demás costos (Operación, Mantenimiento y Administrativos) se considerarán a partir del año uno (1).

Tabla 12.12. Costos totales estimados unitarios (por cada unidad de Sistema de Tratamiento).

Costos Totales Unitarios Estimados (USD)	Máx.	Mín.	Promedio
Costos de Inversión (Costos directos + costos indirectos)	354 029,00	218 722,00	286 375,50
Costos de Operación Anuales	7 428,00	7 296,00	7 362,00
Costos Administrativos Anuales	33 108,00	25 464,00	29 286,00
Costos de Mantenimiento Anuales	2 275,00	1 665,00	1 970,50

Por tanto, dado que se estima que para la remoción del mercurio producido en la RFI se requieren 25 unidades o sistemas de tratamiento con humedales construidos, entonces, los costos totales del Proyecto ascenderían a los valores que se presentan en la Tabla 12.13.

Tabla 12.13. Costos totales estimados (para 25 unidades de Sistema de Tratamiento).

Costos Totales Estimados (USD)	Máx.	Mín.	Promedio
Costos de Inversión (Costos directos+costos indirectos)	8 850 725,00	5 468 050,00	7 159 387,50
Costos de Operación Anuales	185 700,00	182 400,00	184 050,00
Costos Administrativos Anuales	827 700,00	636 600,00	732 150,00
Costos de Mantenimiento Anuales	56 875,00	41 625,00	49 262,50

5.1.4. Valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua de la RFI

Para la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua se usó la metodología que muestra la figura 12.2.

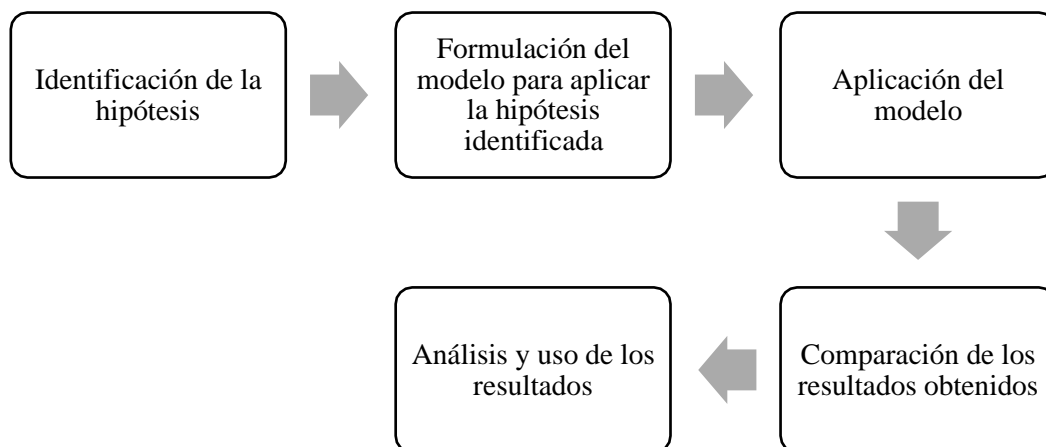


Figura 12.3. Metodología usada para la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua.

5.1.4.1. Identificación de la hipótesis

La hipótesis que se identificó para la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua es la siguiente: "si se realiza un sistema de tratamiento que ocasiona gastos, para

controlar la contaminación proveniente de la actividad aurífera, la calidad del agua en la RFI se mantendrá, evitando los costos de restauración de la calidad de los recursos hídricos y de las pérdidas de la biodiversidad acuática, representando el servicio ecosistémico del bosque de mantenimiento de la calidad del agua” En otras palabras, estos gastos pueden ser interpretados como una estimación de la pérdida de bienestar generada por la pérdida de calidad en los parámetros ambientales, debido a que para que la sociedad esté dispuesta a asumirlos, el valor económico de los servicios ecosistémicos debe ser, por lo menos, igual al valor de dichos gastos (MinAmbiente, 2018).

Las premisas que subyacen con la hipótesis son:

- El enfoque de los costos de tratamiento asume que la determinación de estos refleja en cierta manera el valor del servicio ecosistémico. Es decir, que el valor del servicio ecosistémico está determinado por los costos que se incurre potencialmente para mitigar, corregir o prevenir el impacto que pueda ocasionar sobre los mismos una actividad contaminadora.
- El valor encontrado con esta técnica refleja un valor mínimo del servicio ecosistémico, pues los gastos van a estar restringidos por razones de ingreso para los consumidores o presupuestarias para los productores, Abelson (1996).
- Otro elemento para tomar en consideración es que los gastos pueden ser hechos no exclusivamente para prevenir o mitigar la contaminación del servicio ecosistémico, sino que se pueden realizar por razón de carácter legal o de estatus de los contaminadores, Massiero y otros (2019).
- Otra premisa es que, al evitar la contaminación, se previene de realizar gastos en la restauración de los recursos hídricos afectados o las pérdidas de la biodiversidad acuática expuesta a la contaminación.

5.1.4.2. Formulación del modelo para aplicar la hipótesis identificada

La figura 12.3 muestra la formulación del modelo de la hipótesis formulada.

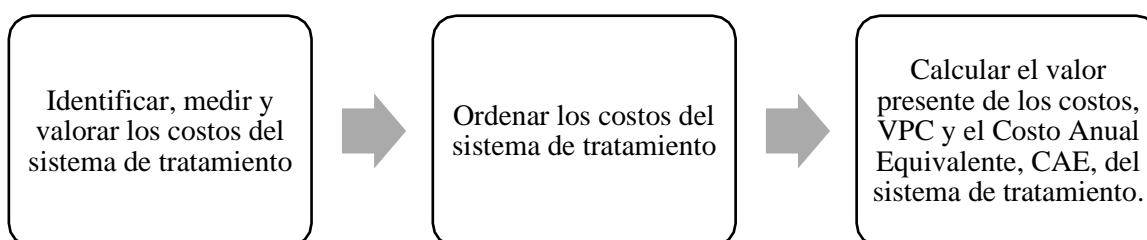


Figura 12.4. Formulación del modelo de la hipótesis formulada

5.1.4.2.1. Identificar, medir y valorar los costos del sistema de tratamiento.

La Tabla 12.14 presenta la identificación, medición y valoración de un sistema de tratamiento.

Tabla 12.14. *Identificación, medición y valoración de un sistema de tratamiento*

Identificación de Costos	Costos Promedio (USD)
Inversión	286 375,5
Operación	7 362,0
Administración	29 286,0
Mantenimiento	1 970,5

5.1.4.2.2 Ordenación de los costos de un sistema de tratamiento

La Tabla 12.15 muestra la ordenación de los costos de un sistema de tratamiento.

Tabla 12.15. *Ordenación de los costos de un sistema de tratamiento.*

Identificación de Costos	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión	286 375,5							
Operación		7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0
Administración		29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0
Mantenimiento		1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5
Costos totales	286 375,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5

Identificación de Costos	8	9	10	11	12	13	14	15
Inversión								
Operación	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0	7 362,0
Administración	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0	29 286,0
Mantenimiento	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5	1 970,5
Costos totales	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5	38 618,5

5.1.4.2.3. Cálculo del Valor Presente de los Costos, VPC y el Costo Anual Equivalente, CAE del sistema de tratamiento.

El Valor Presente de los Costos, VPC se determina con la siguiente ecuación:

$$VPC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{1+i^t} \quad (\text{Ecuación 12.6})$$

Donde:

C_t son los costos en cada uno de los años;

t corresponde a cada uno de los años,

i es la tasa de descuento anual que para valoración económica en el país se puede usar como 12%,

n es la vida útil del sistema de tratamiento, 15 años.

El Costo Anual Equivalente, CAE, se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$CAE = VPC * FRC$$

(Ecuación 12.7)

$$FRC = \frac{\tilde{r}_1 + i\tilde{r}^n * i}{\tilde{r}_1 + i\tilde{r}^n - 1}$$

(Ecuación 12.8)

Donde:

FRC es el factor de recuperación de capital. Las demás variables ya fueron descritas.

5.1.4.3. Aplicación del modelo

A los datos presentados en la Tabla 12.15 se les determinó el VPC y el CAE usando la herramienta Excel de las fórmulas financieras. La Tabla 12.16 presenta los resultados.

Tabla 12.16. Resultados de VPC y CAE de un sistema de tratamiento.

VPC (USD)	549 400,87
CAE (USD/año)	80 665,37

5.1.4.4. Comparación de los resultados obtenidos

Para comparar los resultados obtenidos, se multiplicó en primer lugar el VPC de un sistema de tratamiento por el número de sistemas de tratamiento estimados para la RFI, los cuales son 25 unidades de tratamiento. Este resultado se dividió entre la superficie que ocupa el Arco Minero en la RFI, es decir, 23 085,13 Km².

El resultado es aproximadamente 6,00 USD/ha.

Otra manera usada para comparación de resultados es dividir el CAE de un sistema de tratamiento entre el volumen de agua tratada anual que corresponde a 325 m³/día * 365 día/año.

El valor resulta en 0,7 USD/m³ de agua tratada.

5.1.4.5. Uso de los resultados obtenidos

Para usar los resultados obtenidos, se vuelve a reseñar la hipótesis planteada:

“Si se realiza un sistema de tratamiento que ocasiona gastos, para controlar la contaminación proveniente de la actividad aurífera, la calidad del agua en la RFI se mantendrá, evitando los costos de restauración de la calidad de los recursos hídricos y de las pérdidas de la biodiversidad acuática, representando el servicio ecosistémico del bosque de mantenimiento de la calidad del agua”

De acuerdo con lo anterior, el valor del servicio ecosistémico del bosque de mantenimiento de la calidad del agua resultó en 6 USD/ha si se refiere a superficie o 0,7 USD/m³ de agua tratada, si se refiere a volumen.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



5.2. Valoración ambiental y económica del mantenimiento de la calidad del agua usando el Sistema propuesto de presas de enrocado para el control de sedimentos.

5.2.1. Descripción general e historia de las presas de enrocado

Las presas de enrocado están constituidas por roca, salvo el elemento impermeabilizante, presentando características intermedias entre las presas de gravedad y las presas de tierra.

Exhiben dos (2) componentes estructurales básicos: una (1) membrana impermeable y un (1) terraplén que soporta la membrana. Si la membrana está en el talud aguas arriba, puede ser de concreto armado, de concreto asfáltico o de láminas de acero soldadas. También puede estar dentro del cuerpo de la presa, en cuyo caso puede ser de concreto armado, concreto asfáltico o arcilla.

El dique generalmente consiste en una sección aguas arriba de piedra seca o mampostería y una sección aguas abajo de enrocado suelto.

Una breve reseña histórica contempla cuatro (4) hitos, a saber:

- El primer hito se relaciona con el uso del enrocado a mano en reservorios de baja altura utilizados en el lavado de oro, hacia 1850 (California Sierras).
- Un segundo hito se remonta a la utilización en presas para almacenar agua con alturas superiores a los 100 m (década de 1940, Salt Spring Dam), donde se emplearon rocas de mayores dimensiones, en estado seco, colocadas por maquinaria y sin compactación.
- Entre 1940 y 1950 tiene lugar el tercer hito, donde se usan chorros de agua a alta presión con miras a humedecer y consolidar las rocas gruesas, a modo de garantizar por arriba del 85% el asentamiento de la presa previo al llenado del reservorio.
- Corresponde a la década de 1960, el cuarto hito, en el cual la colocación y expansión del enrocado se lleva a cabo utilizando topadoras y su compactación mediante rodillos, a partir de esta década se realiza una gradación de rocas y se realizan pruebas de humedad y densidad de manera intensiva. Las presas presentan dimensiones de gran envergadura como es el caso de Tehri Dam en la India (260 m.) o Rogun Dam en Tayikistán (335 m.).

En aquellos sitios ubicados en zonas con largos períodos de lluvia, como es el caso en estudio, la construcción de presas de enrocado, y en particular con membrana impermeabilizante aguas arriba, representa, muy probablemente, la única alternativa posible y económicamente factible, debido a que su construcción solo se paraliza cuando la intensidad de la lluvia impide la movilización de la maquinaria empleada.

Por otro lado, lo remoto de la zona en cuestión, distante de los centros de producción de materiales de construcción, en particular del concreto armado y la conformación de terraplenes, añade un elemento adicional a la utilización de este tipo de presas, *máxime* si se dispone en sitio de roca dura y resistente.

En este caso particular se considerarán presas de enrocado sujetas a flujo.

5.2.2. Criterios para el dimensionamiento de presas de enrocado sometidas a flujo

Para el dimensionamiento del dique de enrocado sujeto a flujo se han considerado los siguientes criterios:

- Ancho de Corona = 4 m.
- Taludes: Aguas Arriba = 2:1
- Aguas Abajo = 3:1
- Profundidad de Cimentación = 2 m.
- Material = Enrocado Volcado y Perfilado
- Altura = (1-20) m.
- Ancho = Se considerará como ancho del dique el ancho promedio del cauce del río determinado para cada curso de agua objeto del estudio.

La Figura N° 12.4, sin escala, ilustra los criterios anteriormente planteados y permite establecer las ecuaciones para sistematizar su dimensionamiento.

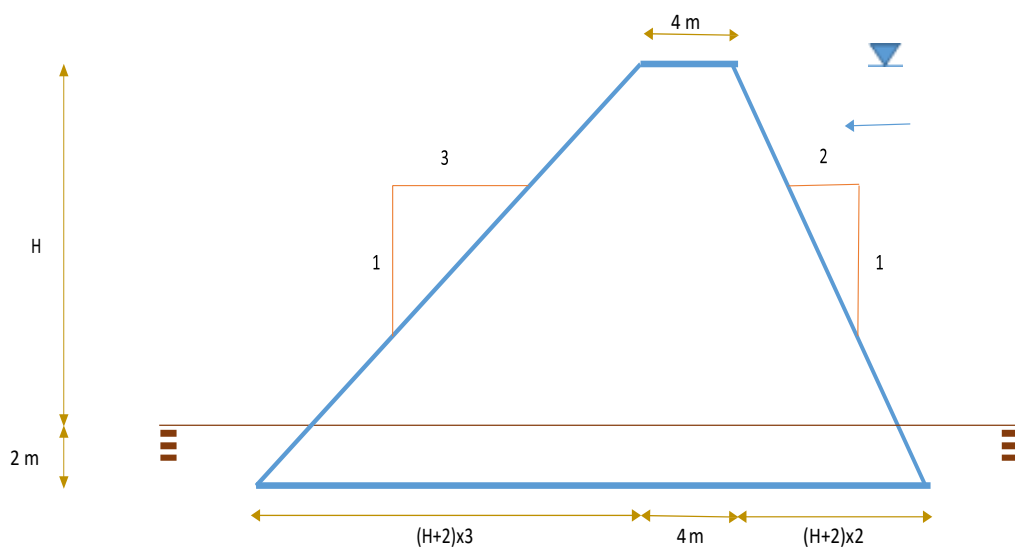


Figura 12.5. Dimensiones del dique de enrocado.

Ecuaciones para la determinación del área y volumen de enrocado:

- El área de enrocado se define a partir del área del trapecio, según:

$$\text{Área} = A = \text{Área Trapecio} = \frac{(H+2) \times 3 + 4 + (H+2) \times 2}{2} \times 4 \times (H+2) \quad (\text{Ecuación 12.9})$$

$$\text{Área} = \frac{5H+18}{2} \omega \times (H+2\tilde{n}) \quad (\text{Ecuación 12.10})$$

- El volumen del enrocado se define como el producto entre el área de enrocado y el ancho promedio del cauce (B), según:

$$\text{Volumen} = V = \text{Área} \times \text{Ancho Promedio del Cauce} = A \times B \quad (\text{Ecuación 12.13})$$

$$V = \frac{5H+18}{2} \omega \times (H+2\tilde{n}) \Omega \quad (\text{Ecuación 12.14})$$

5.2.3. Determinación del volumen de sedimentos atrapados

El cálculo del volumen de sedimentos atrapados en el vaso de almacenamiento se realiza considerando la pendiente media del cauce (S_0), la pendiente de compensación (S_c), asumida esta como $2/3$ de la pendiente media del cauce ($S_c = 2/3 S_0$), y la altura H del dique de enrocado. La Figura 12.6, no a escala, esquematiza esta situación y posibilita el planteo de las ecuaciones requeridas para sistematizar dicho cálculo.

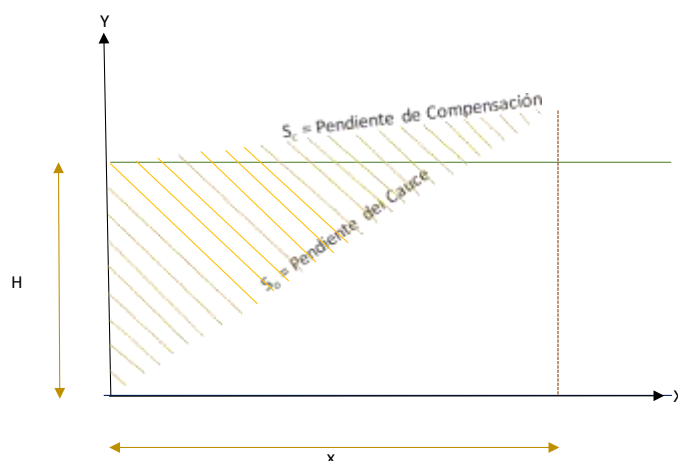


Figura 12.6. Sistematización del cálculo del volumen de sedimentos atrapados en el vaso de la presa de enrocado sujeta a flujo.

- El área de sedimentos se define a partir de la ecuación general de la recta, a saber:

$$\text{Ecuación de la recta} = y = m x + b \quad (\text{Ecuación 12.15})$$

Donde:

m = pendiente

b = ordenada ó intersección en el origen

Luego, cada recta tendrá su propia ecuación:

$$Y_o = S_o x$$

(Ecuación 12.16)

$$Y_c = S_c x + H$$

(Ecuación 12.17)

Ahora, para $Y_o = Y_c$, se tendrá que:

$$S_o x = S_c x + H$$

(Ecuación 12.18)

$$S_o x - S_c x = H$$

(Ecuación 12.19)

$$x(S_o - S_c) = H$$

(Ecuación 12.20)

$$x = \frac{H}{S_o - S_c}$$

(Ecuación 12.21)

Y, como $S_c = \frac{2}{3} S_o$, entonces:

$$x = \frac{H}{S_o - \frac{2}{3} S_o} = \frac{H}{S_o \left(1 - \frac{2}{3}\right)} = \frac{H}{\frac{1}{3} S_o} = \frac{3H}{S_o}$$

(Ecuación 12.22)

Por tanto, el área vendrá dada por:

$$\text{Área} = A = \int_0^{\frac{3H}{S_o}} (S_c x + H) dx - \int_0^{\frac{3H}{S_o}} S_o x dx$$

(Ecuación 12.23)

$$A = \int_0^{\frac{3H}{S_o}} S_c x dx + \int_0^{\frac{3H}{S_o}} H dx - \int_0^{\frac{3H}{S_o}} S_o x dx$$

(Ecuación 12.24)

Resolviendo:

$$A = S_c \frac{x^2 \frac{3H}{S_o}}{2} + Hx \frac{\frac{3H}{S_o}}{0} - S_o \frac{x^2 \frac{3H}{S_o}}{2} \quad (\text{Ecuación 12.25})$$

$$A = S_c \frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} + H \frac{\frac{3H}{S_o}}{0} - S_o \frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} \quad (\text{Ecuación 12.26})$$

$$A = S_c \frac{x^2 \frac{3H}{S_o}}{2} + Hx \frac{\frac{3H}{S_o}}{0} - S_o \frac{x^2 \frac{3H}{S_o}}{2} \quad (\text{Ecuación 12.27})$$

Resultando en:

$$A = \frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} S_c - S_o \frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} + H \frac{\frac{3H}{S_o}}{0} \quad (\text{Ecuación 12.28})$$

- El volumen de sedimentos se define como el producto entre el área de sedimentos y el ancho promedio del cauce (B), resultando en:

$$\text{Volumen} = V = \text{Área} \times \text{Ancho Promedio del Cauce} = A \times B \quad (\text{Ecuación 12.29})$$

$$V = \left(\frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} S_c - S_o \frac{\frac{3H^2}{S_o}}{2} + H \frac{\frac{3H}{S_o}}{0} \right) \times B \quad (\text{Ecuación 12.30})$$

5.2.4. Bases para la estimación del costo de las presas de enrocado

Tomando como base un documento elaborado por el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI), organismo público dependiente del Ministerio de la Defensa de dicho país, de fecha diciembre de 2018, se realiza una estimación global de costos con sus respectivas partidas, al objeto de determinar el costo de las presas de enrocado, tal como se puede apreciar en la Tabla 12.17.

Tabla 12.17. *Estimación de costos para la construcción de presas de enrocado*

Estimación de costos					
Obra: Construcción Dique de Enrocado					
Ubicación: Reserva Forestal Imataca.					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Precio Total (S/)
A	Obras Provisionales:				
	Cartel de identificación	u	1	1 142,00	1 142,00
	Movilización y desmovilización de maquinaria pesada.	S.G.	10	1 318,60	13 186,00
	Habilitación de camino de acceso.	km.	20	3 132,00	62 640,00
	Total Obras Provisionales				76 968,00
B	Trabajos Preliminares:				
	Trazo y replanteo	km.	0,36	1 425,77	513,28
	Control topográfico	km.	0,36	1 704,28	613,54
	Total Trabajos Preliminares				1 126,82
C	Movimiento de Tierra:				
	Limpieza y desmalezación del cauce del río.	m ³	43 200,00	3,54	153 000,00
	Limpieza de capa orgánica del área de trabajo.	m ²	12 600,00	2,47	31 150,00
	Total Movimiento de Tierra				184 150,00
D	Enrocado:				
	Carga y transporte de roca, distancia > 16 km.	m ³	1,00	156,00	156,00
	Acomodo de enrocado en el cuerpo del dique.	m ³	1,00	27,00	27,00
	Total Enrocado				183,00

Fuente: Tomado y adaptado de INDECI, 2018.

5.2.5. Costo de las presas de enrocado para las diferentes subcuencas de la Reserva Forestal de Imataca

La Tabla 12.18 presenta la producción de sedimentos para las diferentes subcuencas de la RFI. El capítulo 11 y el anexo 12.3 presentan las bases para el cálculo de la producción de sedimentos.

Tabla 12.18. *Producción de sedimentos por las diferentes subcuencas aportantes.*

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje, Km ²	Tasa de Erosión Ponderada t/ha*año	Producción Total de Sedimentos m ³ /año
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	3,16	2 911 696,89
	2- Supamo	4 666,12	9,02	3 238 049,31
	3- Yuruan	21 029,81	8,41	13 610 851,1
	4- Alto Coyuni	4 888,44	30,44	11 445 511,61
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	12,13	37 872 087,07
	6- Botanamo	6 638,46	4,39	2 242 688,96
	7- Moracuani	729,96	11,04	619 852,70
	8- Aguas Negras	365,69	4,16	116 967,56
	9- Acarabisi	244,56	2,55	47 894,48
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	28,2	3 739 483,07
	11- Rio Grande	3 215,81	28,99	7 170 613,80
	12- Aguirre	4 485,74	14,76	5 093 065,74
	13- Coyubuni	11 374,36	7,68	6 720 812,72

En lo referente a las Subcuencas del Río Cuyuní, en las Tablas 2 a 10 del anexo 12.2, se presentan los resultados relativos al cálculo de las áreas de enrocado y sedimentos, así como sus respectivos volúmenes, para alturas de dique entre (1-20) m, en cada uno de los ríos objeto del estudio. Asimismo, se puede apreciar en las Tablas 11 a 19 del mismo anexo 12.4, el costo de las presas de enrocado en USD, con tasa cambiaria a razón de 3,34 S/USD, para alturas que van desde 1 m hasta 20 m, en cada uno de los cursos de agua allí señalados.

Respecto a las Subcuencas del Delta del Río Orinoco, se puede visualizar en las Tablas 20 a 23 (anexo 12.2), los valores obtenidos en el cálculo de las áreas de enrocado y sedimentos, al igual que sus correspondientes volúmenes, para alturas de dique entre (1-20) m, considerando los ríos objeto del estudio. Las Tablas 24 a 27 (anexo 12.2) ilustran el costo de las presas de enrocado en USD, considerando una tasa de cambio igual a 3,34 S/USD, para alturas que van desde 1 m hasta 20 m, en cada uno de los cursos de agua allí señalados.

La Figura 6 tomada del anexo 12.1, presenta los *sitios considerados para el cálculo del aporte de sedimentos*, en las subcuencas del río Cuyuní y en las subcuencas del Delta del río Orinoco.

Considerando la ubicación de los sitios de producción de sedimentos, las capacidades de retención y los costos asociados a las presas de enrocado, se ha elaborado la Tabla 12.22. La última columna refleja el costo anual de implementar la medida, en este caso, presas de enrocado, para retener la producción anual de sedimentos en los ríos de las subcuencas del río Cuyuní y del Delta del río Orinoco.

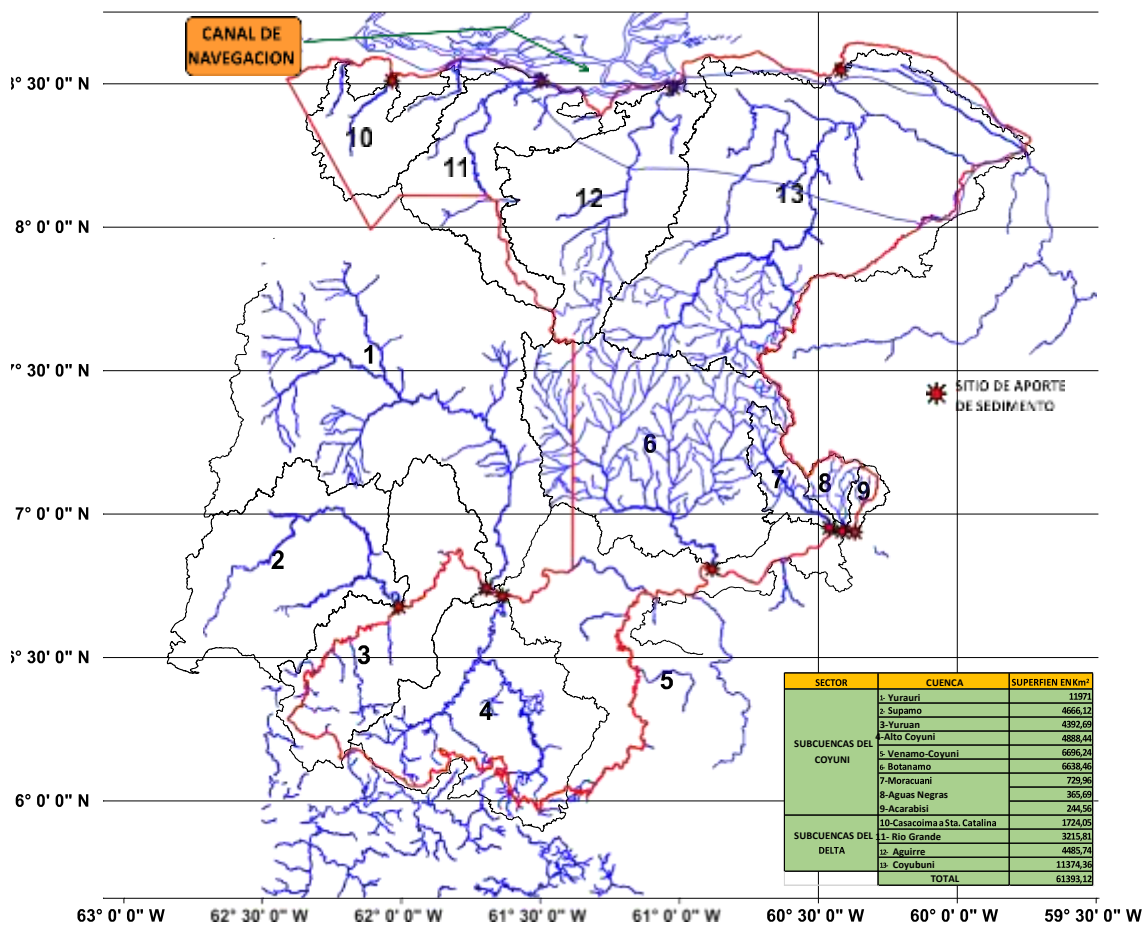


Figura 6. Sitios considerados para el cálculo del aporte de sedimentos, en las sub-cuencas del río Coyuní y en las subcuencas del Delta del río Orinoco.

Fuente: Tomado del anexo 12.1.

Se puede asumir que los costos anuales de las presas de enrocado para cada subcuenca, representa el costo de la sedimentación actual en las mismas y por ende el costo del mantenimiento de la calidad del agua.

Las Tabla 12.19 y 12.20 presenta los costos anuales por superficie y por volumen de sedimentos de cada subcuenca.

Tabla 12.19. *Costos anuales por superficie y por volumen de sedimentos del servicio ecosistémico mantenimiento de la calidad del agua.*

Sector	Subcuenca	Superficie, ha	Aporte sedimentos, m ³ /año	Costo anual, USD/año	Costo por superficie, USD/ha	Costo por volumen, USD/m ³
Subcuencas de Coyuni	1-Yuruari	1 197 100	106 084,69	474 954,59	0,4	4,48
	2-Supamo	466 612	150 013,21	677 282,92	1,45	4,51
	3-Yuruan	439 269	351 023,88	2 231 175,00	5,08	6,36
	4- Alto Coyuní	488 844	523 994,34	2 088 994,14	4,27	3,99
	5- Venamo-Coyuní	669 624	413 571,96	991 246,17	1,48	2,4
	6-Botanamo	663 846	94 966,77	623 516,71	0,94	6,57
	7-Moracuani	72 996	46 086,85	262 301,74	3,59	5,69
	8-Aguas Negras	36 569	10 372,93	127 997,64	3,5	12,34
	9-Acarabisí	24 456	4 706,27	101 692,03	4,16	21,61
Producción de la subcuenca del Coyuni		4 059 316	1 007 972,92	7 579 160,95	1,87	7,52
Subcuencas del Delta	10-Casacoima a Sta. Catalina	172 405	223 316,68	1 082 103,31	6,28	4,85
	11- Río Grande	321 581	365 281,01	720 335,04	2,24	1,97
	12-Aguirre	448 574	238 336,96	1 386 728,99	3,09	5,82
	13-Coyubuni	1 137 436	248 079,13	1 131 801,68	1	4,56
Producción de la subcuenca del Delta del Orinoco		2 079 996	1 075 013,78	4 320 969,01	2,08	4,02

En la Tabla 12.19 se observa, para las subcuencas del Coyuni, que la subcuenca del Yuruari es la que presenta menores costos por superficie, mientras que la del Venamo Coyuní es la que tiene menores costos por volumen de sedimentos.

Para las subcuencas del Delta, la subcuenca del Coyubuni, es la de menor costo por superficie y la de Río Grande la de menor costo por volumen.

La Tabla 12.20 presenta los datos para hacer una regresión para demostrar que en la medida que se incrementa el área de las subcuencas y el volumen de sedimentos que ellas producen se aumentan los costos anuales del mantenimiento de la calidad del agua.

Tabla 12.20. Datos de superficie, volumen de sedimentos y costos anuales de mantenimiento de la calidad del agua.

Superficie, ha	Aporte sedimentos, m ³ /año	Costo anual, USD/año
1 197 100	106 084,69	474 954,59
466 612	150 013,21	677 282,92
439 269	351 023,88	2 231 175,00
488 844	523 994,34	2 088 994,14
669 624	413 571,96	991 246,17
663 846	94 966,77	623 516,71
72 996	46 086,85	262 301,74
36 569	10 372,93	127 997,64
24 456	4 706,27	101 692,03
4 059 316	1 007 972,92	7 579 160,95
172 405	223 316,68	1 082 103,31
321 581	365 281,01	720 335,04
448 574	238 336,96	1 386 728,99
1 137 436	248 079,13	1 131 801,68
2 079 996	1 075 013,78	4 320 969,01

La Tabla 12.21 muestra los resultados de la regresión.

Tabla 12.21. Resultados de la regresión

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0,959264286							
Coefficiente de determinación	0,920187971							
R ² ajustado	0,906885966							
Error típico	603375,9027							
Observaciones	15							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F	Valor crítico de F			
Regresión	2	5,0369E+13	2,5185E+13	69,1766376	2,5847E-07			
Residuos	12	4,3687E+12	3,6406E+11					
Total	14	5,4738E+13						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-164500,4699	222519,159	-0,7392643	0,47396	-649328,0688	320327,129	-649328,069	320327,1291
Superficie, ha	1,027208789	0,25536221	4,02255606	0,00169167	0,470822339	1,58359524	0,47082234	1,583595239
Volumen anual, m ³ /año	2,810363956	0,81357789	3,45432687	0,00476678	1,037730019	4,58299789	1,03773002	4,582997893

Los resultados de la regresión indican un buen ajuste, R² de 0,92, entre la variable dependiente costo anual de mantenimiento con respecto a las variables independientes superficie de la subcuenca y volumen anual de sedimento descargado al curso de agua. Por otro lado, ambas variables independientes contribuyen al modelo al tener un valor crítico de F menor al 5%. Asimismo, los signos de las variables independientes son positivos, indicando



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



que en la medida que las superficies de las subcuencas se incrementan y el volumen anual descargado de las mismas a los cursos de agua aumenta, en esa medida los costos anuales del mantenimiento de la calidad del agua (representado por los costos de las obras de enrocado) se incrementan.

Ambas variables independientes son significativas al tener una probabilidad de pasar por 0 menor de 5%.

La ecuación de la regresión es:

$$\text{Costo Anual Mant. Calidad Agua} = -164\,500,47 + 1,027 * S + 2,81 * \text{VASed}$$

(Ecuación 12.31)

Donde:

Costo Anual Mant Calidad Agua: es el costo anual de mantenimiento de la calidad del agua, en USD

S: es la superficie, en ha.

VASed: es el Volumen anual de sedimentos, en m³/año.

Al derivar *dcostoanual mantenimiento/dsuperficie* indica que, por cada incremento de una ha de superficie de la subcuenca que contribuye a la sedimentación, el costo anual de mantenimiento se incrementa en 1,027 USD anualmente.

Por otro lado, *dcosto anual de mantenimiento/dvolanual sedimentos* señala que, por cada metro cúbico de sedimento anual que va al cauce de agua, los costos se incrementan en 2,81 USD anualmente.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 12.22. Costos anuales de implementación de las medidas de retención de sedimentos mediante presas de enrocado

Sector	Subcuenca	Producción de sedimentos (PS), Tn/año	Producción de sedimentos (PS), m ³ /año	Coefficiente de entrega de sedimentos (CES), %	Aporte de sedimentos (AS), m ³ /año	Costo anual para retener sedimentos (USD/año)
Subcuencas de Coyuni	1-Yuruari	3 785 205,95	2 911 696,89	3,64	106 084,69	474 954,59
	2-Supamo	4 209 464,10	3 238 049,31	4,63	150 013,21	677 282,92
	3-Yuruan	9 699 436,38	7 461 104,91	4,7	351 023,88	2 231 175,00
	4- Alto Cuyuní	14 879 165,10	11 445 511,61	4,58	523 994,34	2 088 994,14
	5-Venamo-Cuyuní	12 724 816,85	9 788 320,65	4,23	413 571,96	991 246,17
	6-Botanamo	2 915 495,65	2 242 688,96	4,23	94 966,77	623 516,71
	7-Moracuani	805 808,51	619 852,70	7,44	46 086,85	262 301,74
	8-Aguas Negras	152 057,82	116 967,56	8,87	10 372,93	127 997,64
	9-Acarabisí	62 262,83	47 894,48	9,83	4 706,27	101 692,03
Producción de la subcuenca del Coyuni.		49 104 115,30	37 772.396,39	2,67	1 007 972,92	7 579 160,95
Subcuencas del Delta	10-Casacoima a Sta. Catalina	4 861 328,00	3 739 483,07	5,97	223 316,68	1 082 103,31
	11- Rio Grande	9 321 797,94	7 170 613,80	5,09	365 281,01	720 335,04
	12-Aguirre	6 620 985,46	5 093 065,74	4,68	238 336,96	1 386 728,99
	13-Coyubun	8 737 056,54	6 720 812,72	3,69	248 079,13	1 131 801,68
Producción de la subcuenca del Delta del Orinoco.		29 541 167,94	22 723 975,33		1 075 013,78	4 320 969,01



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La Reserva Forestal Imataca es una de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial más extensas del territorio nacional. Con más de 3,5 millones de hectáreas, alberga entre sus límites incontables recursos naturales: ecosistemas megadiversos; enormes reservas de agua dulce con potencial para diversos usos; extensiones de bosques cuya función reguladora del carbono es invaluable; la mayor parte de los minerales como oro, bauxita, caolín y dolomita, con altos potenciales económicos; además de ser hogar de las etnias indígenas que conservan el más alto grado de pureza cultural en el país. Todas estas características hacen de la RFI un espacio vital que requiere de una ordenación forestal sustentable y de la conservación de sus bosques bajo una perspectiva ecosocial.
- En aras de promover un desarrollo minero bajo los preceptos del desarrollo sostenible, el Estado Venezolano decreta en el año 2016 la creación del Arco Minero del Orinoco como una Zona de Desarrollo Estratégico Nacional, observándose que más de la mitad del área 4 penetra en la RFI, lo que confirma, precisamente, la riqueza mineral, especialmente en oro, que ésta alberga en su territorio.
- Históricamente, la actividad minera del oro ha marcado pauta en la economía de la región sur del país, caracterizándose por haber sido una explotación de tipo artesanal, y que aún persiste a pesar del desarrollo de la minería industrial, y de los Decretos de Protección de las áreas por parte del Estado Venezolano. La actividad minera artesanal o a pequeña y mediana escala se desarrolla de varias formas: explotación de aluviones (cuyo principal instrumento es la batea o bandeja cónica); explotación de coluviones (que utiliza chorros de agua a presión para el desprendimiento de los taludes, causando impactos más visibles); explotación de eluviones (perforaciones verticales, que emplea explosivos o martillos hidráulicos para la fracturación de la roca, con impactos más acentuados); y en balsas (con los equipos directamente en los ríos, succionando el agua y removiendo los lechos de los ríos, con impactos directos sobre el ecosistema fluvial). Por su parte, la actividad minera a escala industrial emplea explosivos y maquinarias para la remoción del material a procesar, con mayores impactos; no obstante, ésta se desarrolla bajo las premisas de compensación ambiental.
- La minería artesanal o a pequeña y mediana escala, en cualquiera de sus modalidades de explotación, emplea mercurio (Hg) como material para la amalgamación en el proceso de beneficio o recuperación del oro. Entretanto, a escala industrial se emplean soluciones de cianuro (CN⁻) para realizar la recuperación del metal precioso. En ambos casos, se observa el empleo de sustancias con altos niveles de toxicidad, tanto para la salud humana como para los ecosistemas.
- Aun cuando los mineros a pequeña y mediana escala procuran la recuperación del mercurio a través del proceso de refogeo o quemado, se emiten cantidades a los medios aire (vapores de mercurio), agua y suelo (trazas de mercurio no recuperadas), que tienen el efecto de bioacumulación, muy nocivo para la salud humana y de los ecosistemas. Por otra parte, los trabajadores se encuentran expuestos al contacto del mercurio en sus diversas formas, ya



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



que éste es utilizado en casi la totalidad de los casos, sin ningún tipo de equipos de protección personal como máscaras o guantes.

- A escala industrial, los emplazamientos deben contar con lagunas de neutralización de cianuro (colas), lo que también representa la generación de un gran pasivo ambiental. Es por ello por lo que, según voceros oficiales, en Venezuela, la mayoría de las plantas que se están instalando en estos momentos en la zona del estado Bolívar son de carbón activado en pulpa, CIP, que representa una tecnología de punta para disminuir la utilización de lagunas de cola.
- Existen numerosas evidencias de la afectación del mercurio sobre la salud humana y de los ecosistemas, es por ello por lo que se han desarrollado metodologías que permitan cuantificar las liberaciones de mercurio a los diversos medios (aire, agua y suelo). En el presente Proyecto se empleó la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), que ofrece factores por defecto de entrada y de distribución de salidas en caso de ausencia de información, tal como ha ocurrido en el caso venezolano. A partir de la aplicación de esta metodología se contabilizó para el año 2017 en la Reserva Forestal Imataca, 26 450 kg de mercurio, distribuidos los diversos medios según: 15 870 kg en el aire, 5 290 kg en el agua y 5 290 kg en el suelo.
- La cuantificación de las liberaciones de mercurio permite definir el tren de tratamiento necesario y suficiente para procurar la depuración de las aguas residuales provenientes de la actividad minera aurífera, que debe constar de las etapas siguientes: pretratamiento (rejas de desbaste, el desarenador y el medidor de caudal), tratamiento primario (sedimentador primario) y tratamiento terciario (humedal construido de flujo subsuperficial horizontal, HFSSH). Se ha seleccionado esta tecnología de fitorremediación, -entre otras tantas existentes para el tratamiento de efluentes mineros-, en virtud de las ventajas de diseño, construcción y operación que ésta presenta.
- A partir de la cuantificación de las liberaciones de mercurio, de la estimación de la generación de las aguas residuales provenientes de la actividad minera (8 120 m³/d en total) y de una efectividad de remoción esperada de 60%, se consideró el predimensionamiento de un sistema de tratamiento para un caudal de operación de 325 m³/d, para un total de 25 sistemas en toda la RFI. Con base en los diseños realizados por Centeno (2011), que dimensiona los equipos en función de la población servida, se tomó el dimensionamiento del sistema que opera entre 40 y 760 m³/d de agua servida.
- La valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua como servicio ecosistémico a través del tratamiento de las aguas residuales provenientes de la actividad minera, se realizó en función de los costos de inversión inicial, los costos administrativos y los costos de operación y mantenimiento, adaptados de los cálculos realizados por Centeno (2011). El modelo para esta valoración incluye la determinación del VPC y del CAE, resultando en 549 400,87 USD y 80 665,37 USD por año. Esto implica que el costo evitado será de 0,7 USD por m³ de agua tratada.
- Otra de las variables a tomar en cuenta en la afectación de la calidad del agua de la RFI es la presencia de sedimentos en los cauces de los trece (13) ríos que conforman las subcuencas del Coyuní y del Delta del Orinoco. En este sentido, se propone la construcción de presas de enrocado sometidas a flujo a fin de realizar una efectiva retención de sedimentos y evitar las afectaciones aguas abajo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Las trece subcuencas consideradas tienen características morfométricas muy particulares, como diversidad en áreas, topografía o patrones de la red de drenaje, lo que conlleva a observar gran variabilidad en los resultados de la determinación de aportes de sedimentos $m^3/año$, que van desde 4 708,29 $m^3/año$ para la subcuenca del Acarabisi, hasta 1 021 455,8 $m^3/año$ para la Venamo-Coyuní. Es por ello por lo que se realizaron análisis particulares para cada una de ellas, y se diseñaron presas de enrocados particulares.
- Para la valoración económica del mantenimiento de la calidad del agua como servicio ecosistémico por medio del control de sedimentos a través de presas de enrocado, se emplearon los costos propuestos por la metodología del Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI), que incluyen: obras provisionales, trabajos preliminares, movimiento de tierra y enrocado. Como se ha señalado, debido a las particularidades de cada subcuenca, se han determinado los costos para cada una de ellas.
- Considerando la ubicación de los sitios de producción de sedimentos, las capacidades de retención y los costos asociados a las presas de enrocado, se ha elaborado la Tabla 31. La última columna refleja el costo anual de implementar la medida, en este caso, presas de enrocado, para retener la producción anual de sedimentos en los ríos de las sub-cuencas del río Cuyuní y del delta del río Orinoco. Se puede asumir que los costos anuales de las presas de enrocado para cada subcuenca, representa el costo de la sedimentación actual en las mismas y por ende el costo del mantenimiento de la calidad del agua.
- Para las subcuencas del Coyuní, la subcuenca del Yuruari es la que presenta menores costos por superficie (0,4 USD/ha), mientras que la del Venamo Coyuní es la que tiene menores costos por volumen de sedimentos (2,4 USD/ m^3). Para las subcuencas del Delta, la subcuenca del Coyubuni, es la de menor costo por superficie (1,0 USD/ha), y la de Río Grande la de menor costo por volumen (1,97 USD/ m^3).
- Al realizar una regresión entre la variable dependiente, costo anual de mantenimiento, con respecto a las variables independientes, superficie de la subcuenca y volumen anual de sedimento descargado al curso de agua, se observa un buen ajuste, R^2 de 0,92. Por otro lado, ambas variables independientes contribuyen al modelo al tener un valor crítico de F menor al 5%. Asimismo, los signos de las variables independientes son positivos, indicando que en la medida que las superficies de las subcuencas se incrementan y el volumen anual descargado de las mismas a los cursos de agua aumenta, en esa medida los costos anuales del mantenimiento de la calidad del agua (representado por los costos de las obras de enrocado) se incrementan.

6.2. Recomendaciones

- A pesar de que existen numerosas evidencias de la afectación del mercurio sobre la salud humana y de los ecosistemas, es importante reconocer que éste seguirá siendo utilizado por los mineros a pequeña y mediana escala, hasta tanto no se ofrezca y se capacite a los trabajadores de este sector económico en nuevas tecnologías de beneficio o recuperación del oro. Es por ello por lo que se recomienda ampliamente tanto el fortalecimiento de la investigación en esta materia, como en la formación de personal para la capacitación de los trabajadores.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Los proyectos de capacitación a los trabajadores del sector minero que contemple una explotación minera ambientalmente responsable, deben estar enmarcados en Programas Sectoriales que estén alineados con el Plan de Desarrollo de la Nación, y, por tanto, ser parte de las políticas del Estado en materia ambiental. Por ello, debe articularse el trabajo entre los diversos niveles de gobierno: municipal, estatal y nacional, éste último, a través de los Ministerios competentes: para el Desarrollo Minero Ecológico, para el Ecosocialismo y Aguas, para las Comunas, para los Pueblos Indígenas, para la Planificación y Desarrollo, para la Salud y la Seguridad Social, entre otros.
- Otro elemento importante para considerar es la creación de registros oficiales para la generación de estadísticas confiables y accesibles. En este sentido, se debe comenzar a contar con bases de datos de importaciones de mercurio y otras sustancias empleadas en la explotación aurífera, los mineros y sus formas de organización (cooperativas, asociaciones, compañías, independientes, entre otros), la producción estimada y la producción real de oro, las cantidades de mercurio empleadas de forma mensual, entre otras variables que pueden y deben ser medidas de forma continua. Estas estadísticas permitirán determinar el comportamiento tendencial, cíclico o periódico que presentan estas variables, y así, proceder con una planificación de acciones más apegada a la realidad.
- En este mismo orden de ideas, también es importante fortalecer los registros sanitarios de los pobladores tanto permanentes como los itinerantes de la RFI, a fin de tener un mayor control sobre los problemas sociales que se presentan en la zona, y, de esta manera, orientar las políticas del Estado hacia la solución efectiva de los mismos.
- Se necesitan mediciones de campo para conocer la erosión de las diversas subcuencas.
- Así mismo, mediciones en los cauces de agua para determinar el grado de contaminación por mercurio y sedimentos.

7. Bibliografía

Abelson, P. 1996. *Project appraisal and valuation of the environment: general principles and six case-studies in developing countries*. London, Palgrave Macmillan.

Acosta, G. 2015. *Impactos ambientales generados por el uso del mercurio en la minería aurífera ilegal. Caso de estudio: Valle del Cauca*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Tecnología en alimentos. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/282219805>). Acceso: julio de 2019.

Azañero, A. 1998. **Oro Aluvial: Alternativas De Beneficio Metalúrgico**. Lima – Perú. **Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas**. Vol. 1 N°01. Agosto-1998.

Benavides, M. 2017. *Procesos metalúrgicos del oro con tecnologías amigables como políticas de Estado*. Ponencia presentada en las I Jornadas Tecnológicas del Oro "Por una minería responsable". Ministerio del PP para Desarrollo Minero Ecológico. Caracas, Venezuela.

Bolinaga, J.J et.al. 1999. *Proyectos de Ingeniería Hidráulica, Volumen I*. Caracas. (Venezuela). Fundación Polar.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Centeno, E. 2011. *Análisis comparativo de distintas tecnologías de tratamiento de aguas residuales para las municipalidades de Costa Rica. Trabajo de graduación.* Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Civil.

CID, PUCESE-PRAS. 2011. Informe de valoración de pasivos socio ambientales vinculados a la actividad minera aurífera ilegal en el Norte de Esmeraldas. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/280052412>). Acceso: julio de 2019.

Conte, M., Emmanay, D., Mendoza, G., Walter, M. T., Wolny, S., Freyberg, D., Nelson, E., Solorzano, L. 2011. *Retention of nutrients and sediments by vegetation.* En: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (eds.). *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services.* pp. 89-110, Oxford University Press Inc., N.Y., USA.

Corrales, A. 2013. *Análisis y evaluación de la problemática socioambiental ocasionada por el uso del mercurio en la minería aurífera artesanal en Colombia.* Bogotá D.C. Colombia. Universidad Libre. Instituto de Posgrados Ingeniería. Especialización en Gerencia Ambiental.

Cuentas y Velarde. 2012. *Evaluación del uso de mercurio en los procesos de amalgamación de oro en quimbaletes y molinos en La Rinconada – Puno.* (Disponible en: http://www.guzlop-editoras.com/web_des/ing01/minasmet/pld0319.pdf)

Diario El Nacional. 2019. *Venezuela: el rastro de las Reservas de oro.*

Díaz, J. (S/F). *Planeamiento de minado en gravas auríferas.* En: *Minería Aurífera Aluvial. Exposiciones técnicas.* Ministerio de Energía y Minas, Perú.

Espín, D., Jarrín, J. y Escobar, O. 2017. *Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco.* Ecuador. Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa. Vol. II, No. 4, 2017. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui y Universidad Central del Ecuador.

Espinosa, C. (S/F). *Sobre el Análisis y Diseño de Taludes de Enrocado Sujetos a Flujo.* Mérida. (Venezuela). CIDIAT.

Espinosa, C. 2005. *Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.* ISBN 980-6483-18-9. Segunda Edición. Casa Editora CIDIAT. Mérida, Venezuela.

FAO. 1997. *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos.* Estudio FAO Riego y Drenaje.

Fernández, M. 2006. *Valoración económica de la calidad del agua de la cuenca alta del río Campo Alegre.* Instituto Alexander von Humboldt. Colombia.

Flores, G. S/F. *Recuperación de oro fino de yacimientos aluviales.* En: *Minería Aurífera Aluvial. Exposiciones técnicas.* Ministerio de Energía y Minas, Perú.

Grupo Editorial Editec SPA. 2013. Optimizando la recuperación de agua desde relaves. Publicado el 13 de abril del 2016. (Disponible en: <http://www.mch.cl/reportajes/optimizando-la-recuperacion-de-agua-desde-relaves/>)

INDECI. 2018. *Estimación de costos para la construcción de presas de enrocado.* Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Lozada, R. 2016. *Una visión histórica de la minería de oro en la Guayana Venezolana*. Technical Report. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/308063372> *Una vision historica de la mineria de oro en la Guayana Venezolana?ev=prf_pub*)

Mariño, N. 2015. *Minería en Guayana: Situación actual, potencial, crisis e inseguridad*. (Disponible en: http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/FORO_MINERIA_AMBIENTE_Y_SALUD/Mineria_en_Guayana.pdf)

Masiero, M., Animon, I., Barua, S.K, Boscolo, M., Matta, J.R. y Pettenella, D. 2019. *Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers*. Rome, FAO. Forestry Working Paper No. 11, 216 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Milano, S. 2017. *La cultura minera como base para el desarrollo de la pequeña minería*. En *Por una minería responsable: I Jornadas Tecnológicas del Oro*. Ministerio del Poder Popular para el Desarrollo Minero Ecológico. Gobierno Bolivariano de Venezuela.

Minambiente. 2018. *Guía de Aplicación de la Valoración Económica Ambiental*. Bogotá, D.C. Colombia. Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.

Salazar, S., Hernández, F. y Sala, R. 2009. *Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva marco del Agua*. Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN 1578-0732. Vol.9.1.

Santander, M., Paiva, M., Silva, R. y Rubio, J. 2011. *Tratamiento de riles del sector minero-metalúrgico y reutilización de las aguas*. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Atacama. 25 (2011) 10-26. (Disponible en: http://www.ufrgs.br/ltn/period_min/2011-Tratamiento%20de%20riles%20del%20sector%20minero-metal%C3%BArgico%20y%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas.pdf)

Spena Group. 2019. *Tratamiento de aguas residuales en minería*. (Disponible en: SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales.html)

UNEP. 2005. *Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio*. Borrador Preliminar.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2000. *Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. Humedales de Flujo Libre Superficial*. Office of Water. Washington, D.C. Septiembre de EPA 832-F-00-024.

Valdéz, G. 2017. *Presentación Presas de Enrocamiento*. (Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/337990261/Presentacion-Presas-de-Enrocado-3>). Acceso: 24 de septiembre de 2019.

<https://www.asemafor.cl/servicios-ecosistemicos-de-los-bosques-para-el-agua/>

<https://ecodes.org/noticias/efectos-ambientales-del-mercurio>.

https://www.marc.org/Environment/Water-esources/pdfs/brochures/sediment_espanol.aspx

<https://prezi.com/ukphwnyirkc9/metodo-de-costos-emitidos-o-inducidos/>

Anexo 12.1

Actividad aurífera en la reserva Forestal de Imataca

La Reserva Forestal Imataca (RFI) fue creada el 7 de enero de 1963 por resolución del Ministerio de los Recursos Naturales Renovables N° RNR-15 y publicada en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 27 044 de fecha 8 de enero de 1963, como un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). Se encuentra ubicada entre los Municipios Casacoima y Antonio Díaz (Estado Delta Amacuro); y Sifontes, Padre Pedro Chien, Roscio y Piar (Estado Bolívar), con una extensión que supera los 3,5 millones de hectáreas, concentra una de las biodiversidades más ricas y variadas de América Latina, con ingentes reservas de minerales, en particular oro y diamantes, así como una población indígena que supera los 30 000 habitantes.

En la Figura 1 se presenta la ubicación de los desarrollos mineros dentro de la Reserva Forestal Imataca, observándose una mayor concentración de éstos hacia el sur, coincidiendo con las áreas de explotación del Arco Minero del Orinoco, según se ilustra en la Figura 2.

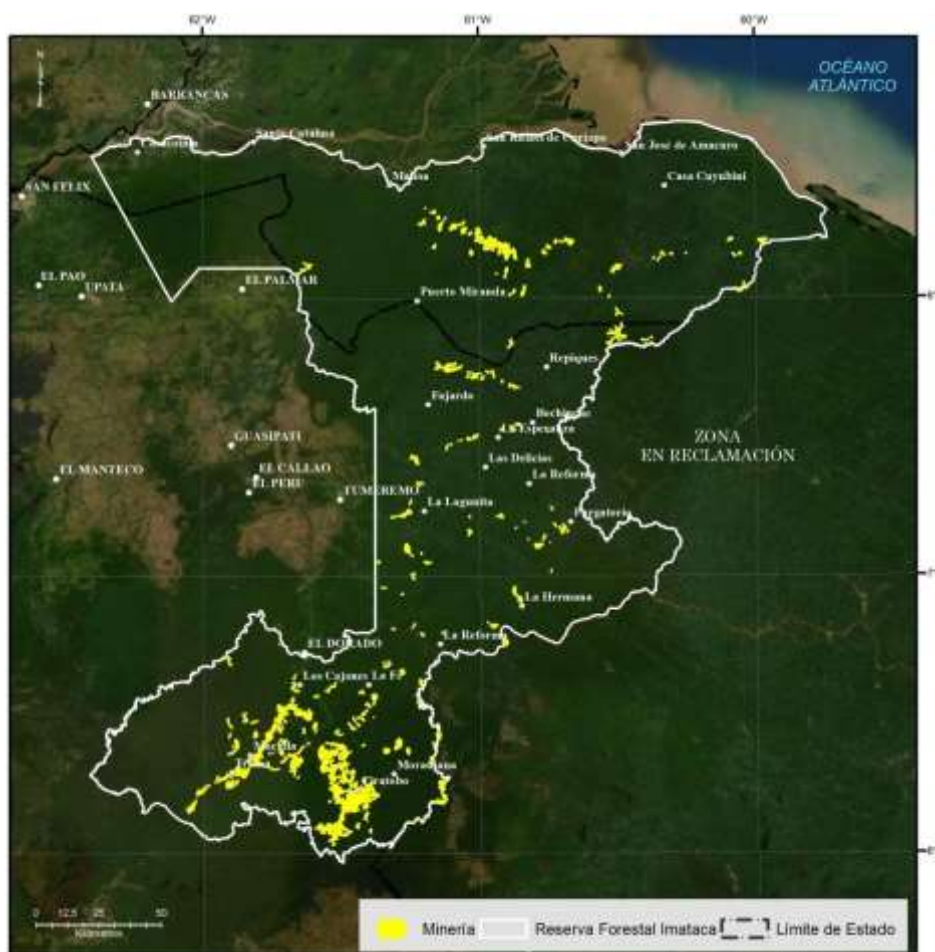


Figura 1: Minería dentro de la Reserva Forestal Imataca

Fuente: Elaboración propia.

El 24 de febrero de 2016, mediante Decreto 2 248, publicado en la Gaceta Oficial N° 40 855, se decreta la creación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco. El mismo consta de cuatro (4) Áreas y un Bloque Especial en una superficie total que alcanza los 111 843,70 Km². La Tabla 1 señala la extensión y los minerales predominantes en ellas.

Tabla 1. Arco Minero del Orinoco, Áreas, Extensión y Minerales Predominantes.

Área	Extensión (km ²)	Minerales predominantes
1	24 680,11	Bauxita, Coltán, Tierras Raras y Diamantes.
2	17 246,16	Hierro y Oro
3	29 730,37	Bauxita, Oro y Hierro
4	40 149,69	Oro, Bauxita, Cobre, Caolín y Dolomita.

Fuente: Elaboración Propia.

Las Áreas 3 y 4 penetran en la Reserva Forestal de Imataca ocupando 1 062,50 Km² y 23 085,13 Km² de su superficie, respectivamente. La Figura 2 ilustra esta situación.

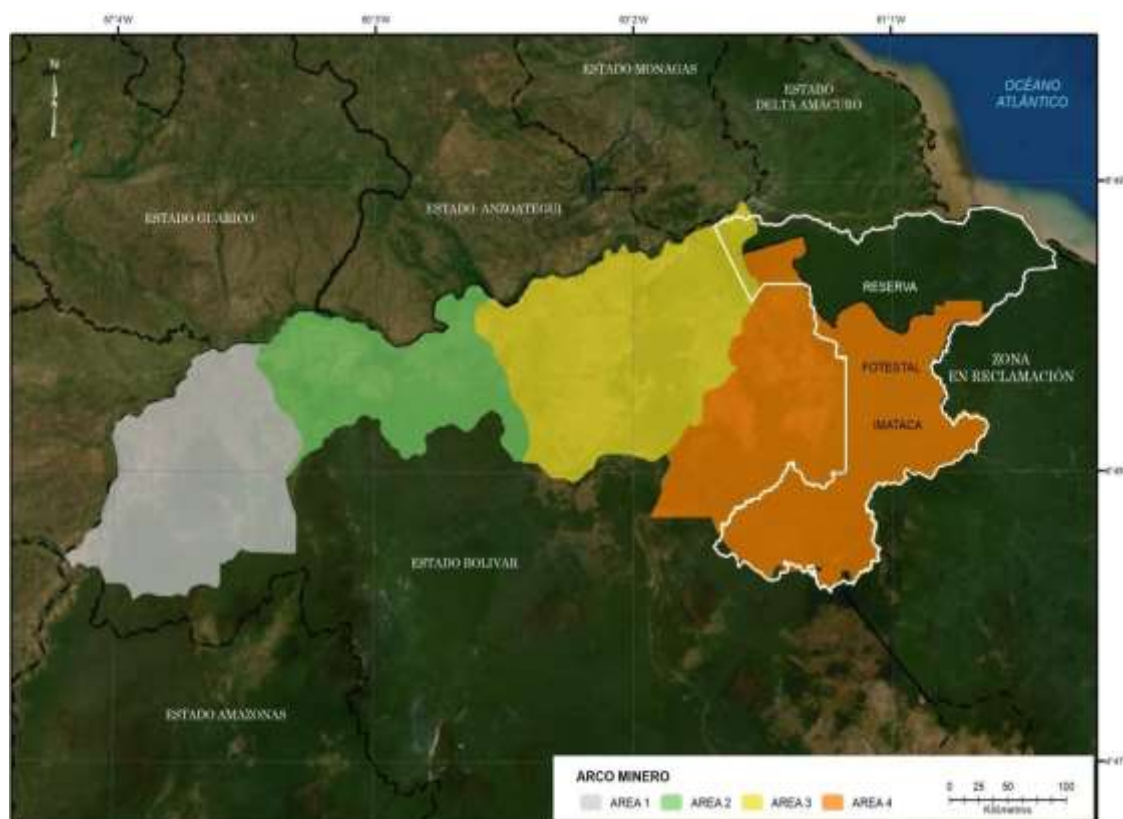


Figura 2: Áreas del Arco Minero del Orinoco insertas dentro de la Reserva Forestal Imataca.

Fuente: Elaboración propia

Padilla (2003) señala que, según la forma de exposición del material aurífero, sea en veta, saprolita o aluvión, se llevarán a cabo la forma de extracción con las diversas técnicas para su explotación, lo que condiciona el nivel de producción. Así, "la extracción puede ser

subacuática, a cielo abierto o subterránea, las técnicas contemplan operaciones manuales, bombas, monitores hidráulicos y maquinaria pesada, todo esto con la finalidad de conseguir rendimientos propios de minería artesanal, de pequeña o mediana minería o gran minería”.

Sin embargo, la producción de oro en esta zona es una actividad que históricamente se ha llevado a cabo, como lo demuestran los registros históricos, llegando a consolidarse en la última mitad del siglo XX. Así, se tiene que en el lapso de ciento catorce años (1866-1980) en Venezuela se produjeron aproximadamente 192 millones de gramos de oro, provenientes de 10.4 millones de toneladas de mineral beneficiado, con un tenor medio de 18.5 gramos de oro por toneladas. (López, 1981). Otro hito que es importante resaltar es la creación de la empresa MINERVEN por parte del Estado Venezolano, con la finalidad de tener participación estatal en la explotación aurífera.

Según información recopilada por Mariño (2015) desde el Viceministerio de Minas, la producción en gramos de oro en Venezuela en el período 1989-2009 ha presentado el siguiente comportamiento:

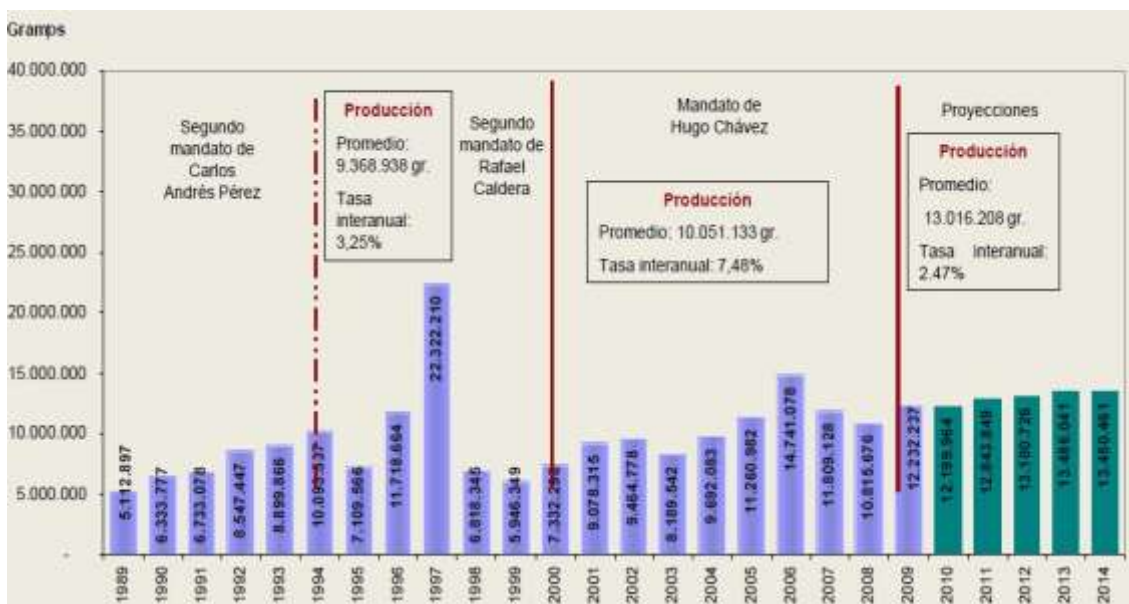


Figura 3: Producción de Oro en Venezuela (gramos), período 1989-2009

Fuente: Direcciones de Planificación y Fiscalización. Viceministerio de Minas

Así, el mismo autor señala dos conclusiones importantes:

- La producción de oro durante el periodo 1996 – 2004, alcanzó un crecimiento interanual de 0,77%. Desde el año 2005 la producción logró aumentar a una tasa interanual de 7,55%.
- Plan 2010-2014: Se estimaba que a partir del año 2010, el Estado Venezolano a través de Minerven, pasaría de producir 4,4 toneladas de oro (4 437 kg)/ año a 7,5 toneladas (7 500 kg), gracias al proceso de recuperación de áreas estratégicas.

A fin de generar el contexto necesario para definir la necesidad del mantenimiento de la calidad del agua en esta importante área, a continuación, se presenta de forma sucinta los principales procesos de producción de oro, conocidos también como procesos de

recuperación o de beneficio del oro. En líneas generales, se identifican los procesos asociados a la producción artesanal (pequeña y mediana escala) y a nivel industrial (gran escala).

Procesos de producción de oro

Producción Artesanal

Es llevada a cabo por personas que pueden estar o no agrupadas en asociaciones u otra forma de conglomerados. En líneas generales, se puede señalar que el proceso de producción cumple con las siguientes fases:

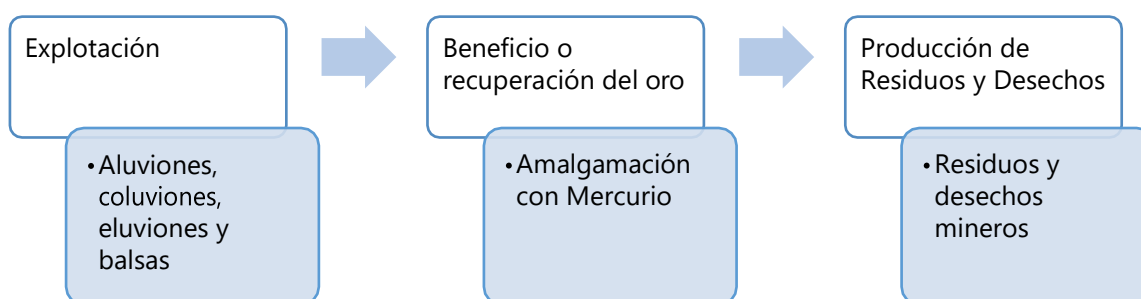


Figura 4: Fases del proceso de producción de oro a escala artesanal

Fase I: Explotación

Milano (2017) señala, por una parte, que la explotación minera en esta zona no se ha detenido en los últimos doscientos años, con épocas de disminución y auge influenciadas por las circunstancias políticas vividas en el país y la región en este período; y por la otra, que la explotación ocurre bajo las siguientes modalidades:

- a. Explotación de aluviones. Se trata del aprovechamiento del mineral que aflora a la superficie de la tierra arrastrado por corrientes subterráneas. Representa la forma de producción original que aún persiste; se realiza con un instrumento cónico, generalmente de madera, denominado "batea". Las partículas finas se amalgaman con mercurio en el vórtice de la "batea". Al momento del estudio, se contabilizaron unos dos mil mineros en esta modalidad. Padilla (2003) señala que en el caso de la producción de oro artesanal a través de la explotación de aluviones es muy variable y depende de la suerte del minero, y se estima que es inferior a 5 Kg/año. Los actores son mineros poco estables que se movilizan de "bulla en bulla".
- b. Explotación de coluviones. Desbarrancamiento de los taludes mediante fuertes chorros de agua propulsados por un monitor hidráulico desde un cuerpo de agua adyacente. El material, compuesto de oro y barro, es impulsado por una "bomba" hasta una estructura de madera, llamada "tame", formada por un plano inclinado por donde se deslizará el barro, las partículas de oro suelto y las amalgamas; quedando atrapadas, por su mayor peso, en una especie de alfombra plástica.



Figura 5: Actividad de succión en la concesión Bizkaitarra -Km 88-
Fuente: Padilla, 2003.

- c. Explotación de eluviones. Se trata de la explotación de vetas insertas en la roca "madre", se llega a ellas a través de excavaciones denominadas "socavones" o perforaciones denominadas "verticales". En ambas, se busca llegar al cuarzo aurífero donde se encuentra la veta; es decir: a unos 25 a 30 metros de profundidad. Para la fracturación de la roca, se utilizan explosivos y martillos hidráulicos. Se trata de una forma de producción de alto riesgo por derrumbes ocasionales o accidentes en el interior. El material primario extraído es llevado a un "molino" donde se tritura y extrae el oro contenido mediante procesos con mercurio o de cianuración. Se contabilizaron tres mil mineros, en esta actividad.



Figura 6. Mina Unión. Distrito Aurífero El Callao
Fuente: Mariño, 2015



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- d. *Explotación mediante balsas.* Se trata de extracción de mineral del fondo de los cuerpos de agua; las succionadoras que son motobombas, llevan el material a la cubierta de la embarcación ("balsa") dotada con el equipamiento para su procesamiento y la devolución al río, del material "inerte". Se contabilizaron al momento, unos cinco mil mineros en esta actividad. Padilla (2003) señala que esta modalidad implica usar un buzo que debe llegar al lecho del río con el fin de transportar la manguera de succión. De forma similar a los otros procedimientos, se utiliza mercurio para la recuperación del oro y se produce gran cantidad de sedimentos que son directamente depositados en el río generando montículos y fosas que alteran el ecosistema fluvial. El nivel de producción de oro es de 500 a 1 000 Kg/año.

Fase II: Recuperación, Beneficio o Tratamiento del Oro:

Existen numerosos procesos para la recuperación o beneficio del oro; sin embargo, se hará mención específicamente al proceso por amalgamación con mercurio (Hg), por ser el que típicamente se utiliza en la minería a pequeña y mediana escala, que es, precisamente, las formas predominantes de explotación en la RFI (aluviones, coluviones y eluviones), debido a la sencillez de su aplicación, notable eficiencia y, básicamente, la poca inversión requerida de capital. En este sentido, tal como menciona Milano (2017), el equipamiento empleado para las diversas formas de explotación se basa en las bandejas de madera (explotación de aluviones), monitores hidráulicos y "tames" (explotación coluvional), martillos hidráulicos y molinos o trituradores, también llamado quimbalete¹ en las latitudes sureñas de este continente (explotación eluvional) y balsas y bombas (explotación por balsas).

Cuentas y Velarde (2012) definen la amalgamación como un proceso que se aplica para recuperar oro y plata de minerales auríferos y argentíferos. El oro, en particular, se puede combinar con el mercurio formando una gran variedad de componentes desde $AuHg_2$ hasta Au_8Hg . Las principales amalgamas son: $AuHg_2$, Au_2Hg y Au_3Hg . Asimismo, señalan que para que el oro se amalgame, tiene que estar en contacto con el mercurio, por lo que el oro incluido en otras sustancias (como por ejemplo sulfuros y cuarzo) no puede ser extraído hasta que se realice una trituración y molienda que libere las partículas de oro y permita su contacto con el mercurio.

Cuentas y Velarde (2012) esquematizan el proceso según:

¹ El quimbalete está constituido por dos elementos: la "hembra" que es la base fija y el "macho" que es el elemento superior y móvil. Su capacidad de molienda es de 15 kg aproximadamente.

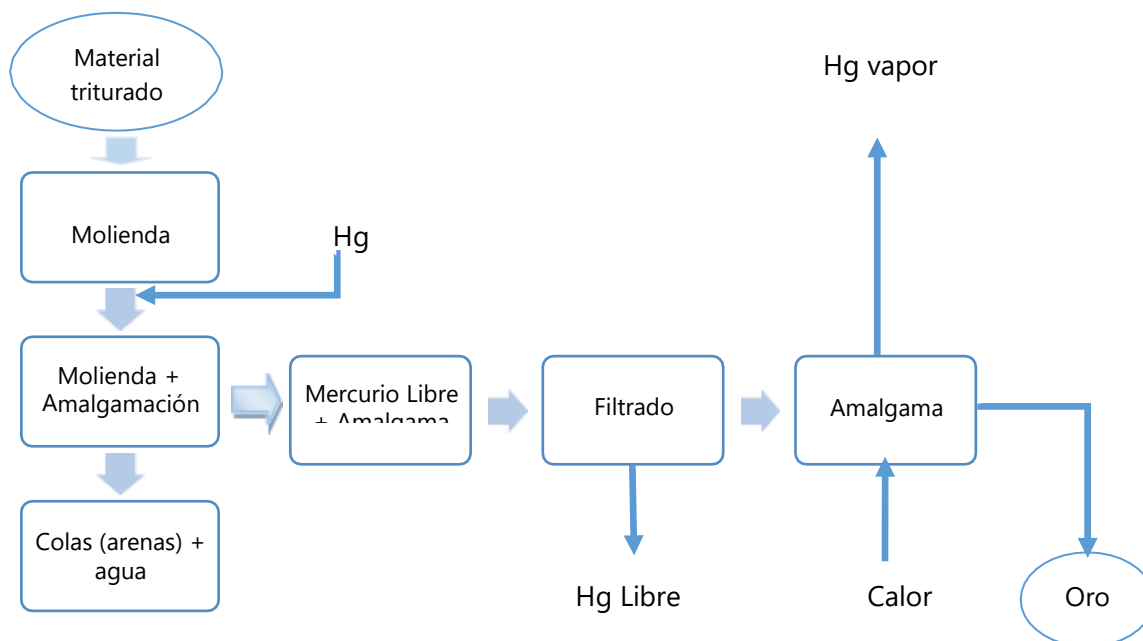


Figura 7: Recuperación o beneficio del oro a través del proceso de amalgamación con mercurio. Fuente: Tomado de Cuentas y Velarde, 2012.

Costa, M., Alfonso, P. y Palacios, S., (2009) y Cuentas y Velarde (2012) describen el proceso según:

- El material con concentraciones de oro extraído, es transportado hasta la zona de tratamiento del mineral.
- El primer tratamiento consiste en la reducción de tamaño hasta la pulverización mediante molinos.
- Durante la molienda se agrega el mercurio (Hg), donde ocurre el proceso de amalgamación. El mineral es triturado gracias al balanceo de la piedra. Para conseguir este balanceo se coloca sobre la piedra un tablón de madera y un operario sobre él provoca el movimiento. Se forma así una amalgama de oro y mercurio.
- Al finalizar la molienda, se retira el agua con el material disuelto hacia unos tanques de sedimentación, y se procede a extraer el mercurio de forma manual, a través de la extrusión, pues la amalgama obtenida se envuelve en un fragmento de tela y se le aplica presión para que filtre a través de la tela.
- La separación de mercurio y oro se hace mediante el *refogeo*. Se aplica el soplete directamente a la amalgama para conseguir evaporar el mercurio. El resultado es el oro con sustancias impuras que terminan siendo eliminadas a altas temperaturas con la fundición. En el proceso del refogeo, el mercurio es liberado directamente a la atmósfera y además es inhalado por el minero artesanal.

Fase III: Producción de Residuos y Desechos

Los procedimientos anteriormente descritos generan residuos y desechos en cada una de las etapas que los conforman, siendo quizá, el más notable, el residual de mercurio que pasa a

los medios agua, aire y suelo, ya que este metal pesado se emplea como materia prima para la amalgamación del oro. La presencia de este residual ocurre durante el proceso de refogeo, ya que una parte del mercurio es evaporado, pasando a la atmósfera; y las trazas de son dispuestas por los mineros de forma directa al agua o al suelo, generando contaminación que afecta tanto al medio como a la biota que allí se desarrolla.

Por otro lado, se tiene que en la explotación de coluviones y de aluviones, la aplicación de los chorros de agua propulsados por un monitor hidráulico y/o la fracturación de la roca con explosivos o martillos hidráulicos, genera la alteración de la calidad de los cuerpos de agua por la producción de material suspendido, además de la destrucción de suelos, masa boscosa y hábitats de ecosistemas fluviales y ribereños.

Producción Industrial

La producción a nivel industrial del oro en Venezuela es llevada a cabo por empresas del Estado, como Minerven, o empresas bajo concesión. De forma análoga al proceso artesanal, también se pueden establecer tres fases principales a saber:

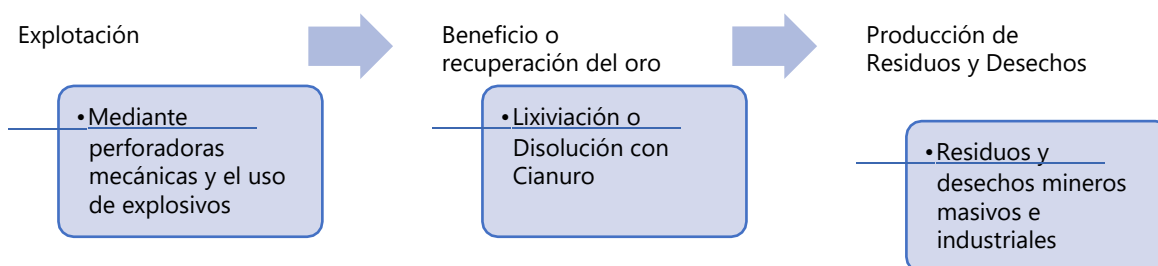


Figura 8: Fases del proceso de producción de oro a escala industrial

Fase I: Explotación

Usualmente, el sistema de explotación es mediante perforadoras mecánicas y el uso de explosivos. Por medio de las perforadoras mecánicas producen los orificios para posteriormente poder introducir el barreno. Los explosivos utilizados están compuestos por dinamita y AnFo. Después de la voladura se separa el material extraído en función de si contiene de oro o no. El mineral que no trae oro es lanzado como desmonte fuera de la mina.



Figura 9: Explotación en yacimiento de saprolita y veta. Revermin-Crystallex
Fuente: Padilla (2003)

Padilla (2003) señala que para el año 2002, Crystallex era la única gran empresa minera extranjera activa formalmente en el Km 88-Las Cristinas. Asimismo, esta empresa contaba con las concesiones Albino, Revermin y Tomi; éstas últimas se encuentran hacia el norte de Las Cristinas, cerca de El Callao (Wood, 2.002, 24 de julio, citado por Padilla, 2003).

Fase II: Recuperación, Beneficio o Tratamiento del Oro

Actualmente, el principal proceso para el tratamiento del oro es la lixiviación o disolución con cianuro. El principio básico del proceso de cianuración consiste en que una solución alcalina débil de cianuro tiene una acción preferencial por la disolución del oro.

La inversión para una planta de cianuración es alta por la adquisición de molinos de bolas y estanques pachuca (con inyección de aire), para la disolución o lixiviación de oro utilizando carbón activado que permite la absorción del oro presente; esta es la técnica más utilizada a nivel mundial. Los desechos o colas van a lagunas de cola con 75% de líquida. A esta solución cianurada se le agrega peróxido de hidrógeno para neutralizar el cianuro presente, lo que implica construir grandes lagunas de cola que pueden representar un gran pasivo ambiental. Las lagunas deben ser recubiertas con geomembrana para su impermeabilización, o utilizar la metalurgia de pastas que es una nueva tecnología que permite alimentar a la laguna de cola con alto porcentaje de sólido y con bajos porcentajes de líquido. (Benavides, 2017).



Figura 10. Planta procesadora de Minerven en El Callao; se observan los tanques para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con cianuro.

Fuente: Lozada, 2016.

Existen diferentes métodos para la utilización del carbón activado, tales como CIP, carbón en pulpa; CIL, carbón en lixiviación; o CIC, carbón en columna. En Venezuela, la mayoría de las plantas que se están instalando en estos momentos en la zona del estado Bolívar son de carbón en pulpa, CIP. Asimismo, Minerven en sus plantas Chocó, Revemín, La Camorra utilizan ya carbón activado y, en el caso de Caratal, que es la planta bandera de Minerven, usa el proceso Merrill Crowe, y está en proyecto instalar a corto plazo un proceso CIC (Benavides, 2017). Cabe señalar que este proceso Merrill Crowe utiliza sales de zinc y plomo para precipitar, siendo éste último un metal pesado altamente contaminante.

En el proceso Merrill Crowe se saca previamente el oxígeno y se ciernen las partículas sólidas de la solución de dicianourato de sodio. Esquemáticamente, el proceso responde a la reacción química general siguiente:



El zinc (Zn) reacciona con el complejo oro-cianuro y forma un complejo zinc-cianuro $\text{ZnAu}(\text{CN})_2$. El oro (Au) sólido es separado, mientras que se forma el complejo zinc-cianuro $\text{NaZn}(\text{CN})_4$. Se añade generalmente una sal de plomo para evitar que el oro envuelva al zinc y lo vuelva inoperante. Una vez efectuada la reacción se recupera el oro sólido por filtración.

Fase III: Producción de Residuos y Desechos

A escala industrial, los procesos de explotación y recuperación o beneficio del oro generan residuos y desecho masivos industriales, como grasas y aceites combustibles de las maquinarias, chatarra, desechos orgánicos de los campamentos y, principalmente, las colas con residuos de cianuro que se depositan en las lagunas, contrayendo pasivos ambientales. No obstante, cabe señalar que, debido a la incorporación de las nuevas tecnologías de carbón activado señaladas anteriormente, la producción de residuos y desechos es minimizada.

Contaminación de los recursos Aguas y Suelo por la actividad minera aurífera

Existen numerosas evidencias de la contaminación de los recursos aguas y suelos producto de la actividad minera aurífera que emplea mercurio (Hg) y/o cianuro (CN). Aunque el objetivo de esta sección no es presentar una relación bibliográfica exhaustiva sobre la contaminación generada por la actividad minera aurífera, se hace una breve presentación de referencias asociadas.

Así, se tiene que el Ministerio del Ambiente del Ecuador en conjunto con el Programa de Reparación Ambiental y Social (PUCESE-PRAS) y el Centro de Investigación y Desarrollo (CID), realizó el *Informe de valoración de pasivos socio ambientales vinculados a la actividad minera aurífera ilegal en el Norte de Esmeraldas* (2011), donde se señala que la actividad minera en este sector se localiza principalmente en el curso medio (entre la zona de manglares y las zonas más altas de la cuenca) de nueve ríos y esteros de la segunda cuenca hidrográfica más grande del país, la cuenca del sistema Santiago-Cayapas: Tululbí, Palabí, Cachaví, Bogotá, Huimbicito, Santiago, María, Zabaleta y Zapallito, en un área de concentración de 121 311,3 ha.

Otro factor importante señalado es la afectación de las comunidades ubicadas aguas abajo de los desarrollos mineros, como Borbón (ciudad), Santa María, Atahualpa, Trinidad, Pichiyacu Grande, El Edén, Playa Grande, Santa Rosa de los Éperas, San Agustín, Maldonado, Aquí me quedo, San Francisco del Bogotá, Santa Rita, Carondelet, San Javier de Cachaví, La Concepción, La Boca, Ricaurte y La Ceiba, a lo que se suma el nulo beneficio económico que han recibido de esta actividad, generando conflictos de uso del recurso.

Para determinar los niveles de contaminación, se evaluaron los impactos de la minería de oro en el sistema biofísico, a través de una serie de criterios para la determinación de siete indicadores ecológicos, entre los que destacan: Estado de conservación de ecosistemas acuáticos y Calidad y disponibilidad del recurso agua, que a su vez se desagregan en los subindicadores siguientes: Calidad física columna de agua, Calidad química columna de agua, Bio-acumulación de polutantes en peces, moluscos y crustáceos y Acumulación polutantes en sedimentos de cursos de agua. La siguiente figura presenta la estimación del índice de afectación ambiental en la zona de explotación minera.

Indicadores Ecológicos	Sub indicadores	Pond. Sub-indicador	Nota sub-indicador	Eval. Sub-Indicador	Suma sub. Ind.	Pond. %	Evaluación
Calidad del agua	Calidad física columna de agua	15%	9	1,35	9,0	17,5	1,58
	Calidad química columna de agua	25%	9	2,25			
	Bio-acumulación de polutantes en peces, moluscos y crustáceos	50%	9	4,5			
	Acumulación de polutantes en sedimentos de cursos de agua	10%	9	0,9			
Cantidad de agua	Volumen de agua bombeada para actividades mineras	100%	9	9	9,0	14,5	1,31

Figura 11: Estimación del índice de afectación ambiental en la zona de explotación minera. (Fragmento)

Fuente: CID, PUCESE-PRAS. 2011.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los resultados de esta estimación señalan una alta afectación sobre los indicadores ecológicos de cantidad y calidad del agua, ya que la evaluación final se ubica en 1,58 y 1,31 en una escala de calidad ambiental del 1 al 10. De forma global, el estado de conservación final resultó en 2,07. Así, este estudio es concluyente en cuanto a la afectación y generación de pasivos ambientales producto de la actividad minera aurífera en el Norte de Esmeraldas.

Por su parte, Acosta (2015), en el estudio realizado con la Universidad del Valle (Colombia) titulado *Impactos ambientales generados por el uso del mercurio en la minería aurífera ilegal. caso de estudio: Valle del Cauca*, señala que la práctica de la minería aurífera en el Valle del Cauca ha estado ligada a la tradición histórica y familiar, abarcando los diversos municipios del departamento, como Buenaventura, Dagua, Darien, Jamundí, Bolivar, Santiago de Cali, El Dovio, Argelia, Ginebra, Guacari, Buga y Tuluá.

Asimismo, hace referencia al informe presentado en el año 2014 por la Contraloría General de la República de Colombia donde se señala al departamento del Valle del Cauca como afectado por contaminación con mercurio en sus cuerpos de agua producto de la explotación de oro aluvial. Así, "según el informe, en el río Dagua se evidenció contaminación con mercurio en peces al extraer las muestras en el corregimiento de Zaragoza (Buenaventura), en el río Anchicayá (Cartago) se evidenció contaminación con mercurio en muestras de agua al igual que en el río Cauca al realizarse el muestreo en el distrito de Aguablanca (Cali)" (CGR, 2014, citado por Acosta, 2015).

De la misma manera, refiere que "el monitoreo realizado por la Red de Referencia del IDEAM entre los años 2007 y 2011 permitió cuantificar la carga de metales pesados de los afluentes y tributarios de la cuenca Magdalena – Cauca". En este sentido, los ríos Amaime (Cerrito), Bugalagrande (Bugalagrande), Cali (Cali), Guachal (Palmira), Guadalajara (Bugalagrande), Riofrío (Yotoco) y Tuluá (Tuluá) presentaron concentraciones de mercurio mayores a 0.002 mg/L, considerado el límite máximo permisible en el agua para el consumo humano y uso doméstico.

López (S/F) reseña que una investigación realizada por Paolini de la Universidad Nacional Experimental de Guayana, concluyó que entre 2000 y 2007 la concentración de mercurio en peces que consumen los habitantes de la cuenca del río Caroní aumentó de 2,65 a 7,86 mg/g.

Por otra parte, Rojas (S/F) de la Universidad de Carabobo analizó veinticuatro estudios científicos sobre el uso del mercurio en Venezuela, siete de ellos sobre su impacto en la salud de seres humanos, encontrando resultados alarmantes, como la detección de la presencia de mercurio en cabello entre 0,36 y 186,5 mg/g (lo tolerable para una persona es 10 mg/g) y en sangre entre 11,78 y 20 mg/g (lo tolerable es 15 mg/g).

Así, en la actividad minera aurífera, los efluentes líquidos contienen entre otras impurezas, cantidades de mercurio (Hg), que pueden llegar a convertirse en severas amenazas debido al carácter tóxico y bioacumulable de esta sustancia. De hecho, tal como se muestra en el apartado relacionado con la cuantificación de las liberaciones de mercurio en la RFI, producto de la actividad minera aurífera, estos valores se elevan a 5 290,00 kg Hg/año.

En este sentido, el contenido de mercurio en las aguas residuales mineras hace que estos efluentes no sean aptos para su descarga directa tanto en los cuerpos de agua como en los suelos.

Anexo 12.2

Sistemas de tratamiento de aguas residuales y Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca

Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

Centeno (2011) señala que los tratamientos de las aguas residuales se pueden clasificar desde diversos puntos de vista:

- Según el tipo de tratamiento biológico: en anaeróbicos o aeróbicos, y en sistemas de crecimiento en suspensión o de película fija.
- Según el tipo de tecnología: en sistemas tradicionales o en sistemas no tradicionales.

La Tabla 1 muestra algunos sistemas de tratamiento según el tipo de tecnología.

Tabla 1: Clasificación de los Sistemas de Tratamiento de Depuración

	Tipo	Anaeróbico	Aeróbico	Facultativo
<i>Sistemas tradicionales</i>	Crecimiento en suspensión	Reactor Anaeróbico de Manto de Lodo y Flujo Ascendente (UASB) y Laguna Anaeróbica	Lodos Activados (Convencionales, de Aireación Extendida)	Laguna Facultativa
	Película Fija	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)	Lecho bacteriano rotativo	---
<i>Sistemas No tradicionales</i>		Humedales combinados con UASB y FAFA		

Fuente: Tomado y Adaptado de Aguilar (2015)

Para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la actividad minera aurífera en la RFI se propone la utilización de sistemas no tradicionales, como los humedales construidos, bajo técnicas de fitorremediación, ya que presentan una serie de ventajas sobre los otros sistemas.

Espinosa (2005) define al humedal construido como "un complejo sistema compuesto de agua, sustrato, plantas (vasculares y algas), restos vegetales (principalmente material vegetal caído de las plantas), invertebrados (principalmente insectos de larvas y gusanos) y una compleja fauna microbiana (los más importantes son las bacterias)." (p. 12) Así, los humedales construidos tratan de imitar las condiciones óptimas de tratamiento presentes en los humedales naturales, y pueden ser de dos tipos:

- Humedales de flujo superficial libre: Los HFSL imitan el régimen hidrológico de los humedales naturales. En los humedales construidos de flujo superficial libre, el agua ingresa a través de una estructura de entrada, fluye sobre la superficie del suelo y es evacuada por una estructura de salida. En algunos casos el agua se pierde totalmente por infiltración y evapotranspiración en el cuerpo del humedal construido.

- Humedales de flujo subsuperficial, que pueden ser:
 - HFS con flujo horizontal: Es llamado de flujo horizontal debido a que el agua residual es alimentada en la entrada y fluye lentamente a través del medio poroso subsuperficialmente, siguiendo un patrón predominante de flujo horizontal, hasta alcanzar la estructura de salida. Durante este recorrido el agua residual entra en contacto con un medio alternado aerobio y anaerobio. La zona aerobia se forma alrededor de las raíces y rizomas que introducen oxígeno en el sustrato. El agua residual es purificada a su paso por el humedal mediante la biodegradación de los compuestos presentes en ella, y a través de procesos físicos y bioquímicos. La Figura 1 ilustra un Humedal de Flujo Subsuperficial de Flujo Horizontal.

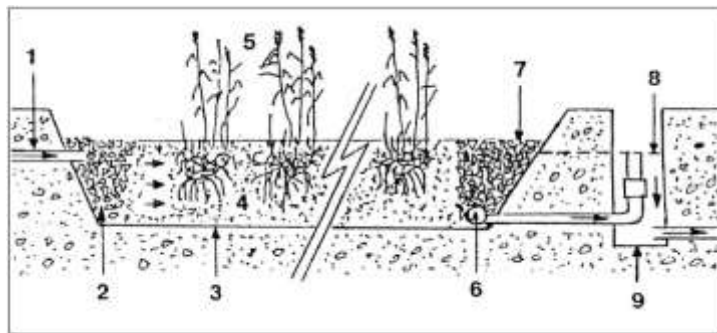


Figura 1. Sección longitudinal de un humedal de flujo subsuperficial (HFS) de flujo horizontal.

1: Tubería de distribución de agua residual pretratada. 2: Zona de distribución de flujo (grava gruesa). 3: Revestimiento impermeable. 4: Medio (grava, arena, piedra picada). 5: Vegetación. 6: Colector de salida. 7: Zona de recolección de salida (grava gruesa). 8: Nivel de agua en el lecho controlado por una estructura de salida. 9: Efluente.

Fuente: Tomado de IWA, 2000; citado por Espinosa, 2005.

Estrada (2010) describe las características del Humedal Construido de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSSH) según:

- En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas.
- La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m.
- Funciona permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie).
- Trabajan con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales.
- La recogida del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación.

Por su parte, Espinosa (2005) señala que entre las funciones de los humedales construidos está la de remoción de metales, ya que algunos metales son requeridos en pequeñas cantidades (trazas) por las plantas y animales para su crecimiento: bario, berilio, boro, cromo, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, azufre y zinc. Esos

mismos metales en altas concentraciones pueden ser tóxicos. Otros metales como arsénico, cadmio, plomo, mercurio y plata, no tienen una función biológica conocida, pero son removidos, pudiendo ser tóxicos aún en bajas concentraciones. Los mecanismos de remoción predominantes en los humedales son la adsorción, absorción y la precipitación. (p. 25)

- HFS con flujo vertical: Son sembrados frecuentemente con *Phragmites australis*. Otras especies plantadas son la *Typha spp.* y la *Scripus spp.* El HFS con flujo vertical es muy similar a un filtro biológico rústico (Cooper et al, 1996, citado por Espinosa, 2011).

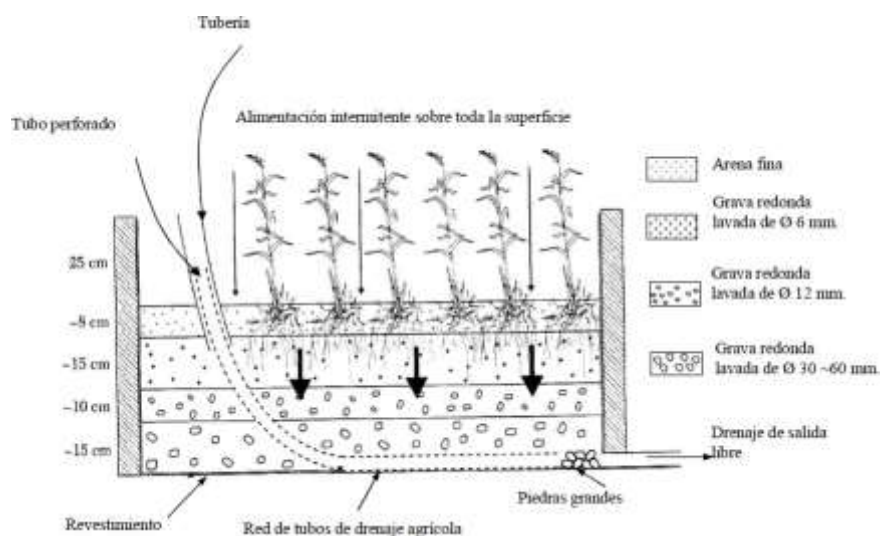


Figura 2. Esquema típico de un humedal de flujo subsuperficial (HFS) de flujo vertical
Fuente: Tomado de Cooper, 1996, citado por Espinosa, 2011.

Estrada (2010) señala que los HFSSV se caracterizan por:

- La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado.
- La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m.
- Operan con cargas de alrededor de 20-40 g DBO/m²×día, producen efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores.
- Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica).
- Son más susceptibles a la colmatación.

El principal inconveniente es que su operación es más compleja, un poco más cara y que no han sido tan estudiados como los horizontales.

Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio producto de la Minería de Oro en la Reserva Forestal Imataca

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (UNEP por sus siglas en inglés), presentó en Noviembre de 2005 un Borrador Preliminar del *Instrumental para la identificación y cuantificación de las liberaciones de mercurio*, cuya finalidad es asistir a los países en la elaboración de una base de conocimientos relativos a los riesgos que ocasiona el mercurio, a través de la elaboración de un inventario de mercurio donde se establezcan las fuentes de liberación y la magnitud de las mismas.

El mencionado Instrumental presenta una metodología estandarizada en cuatro (4) pasos, a saber (figura 3):

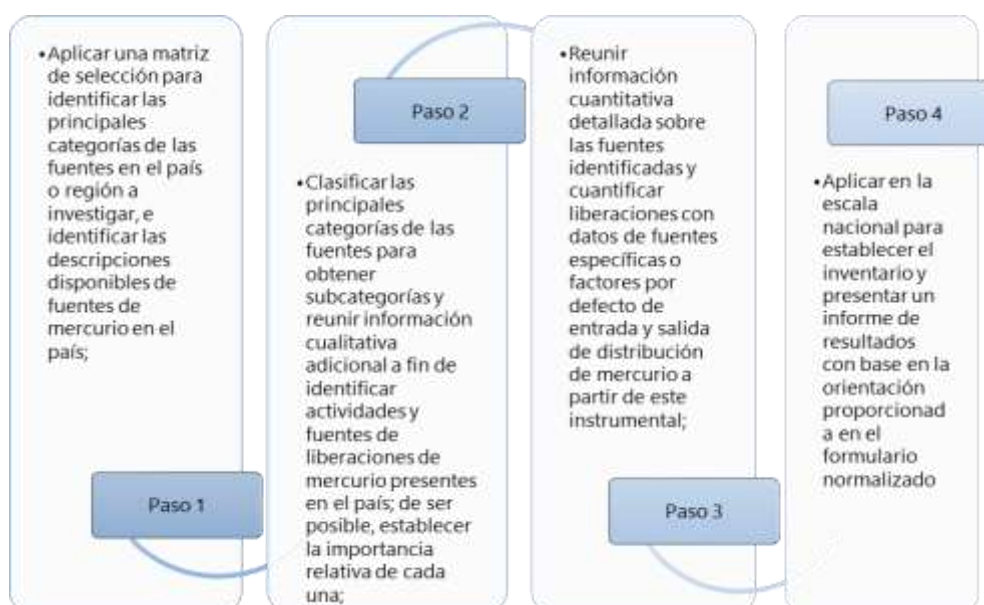


Figura 3: Metodología estandarizada para la cuantificación de las liberaciones de mercurio.
Fuente: Tomado y adaptado de UNEP, 2005.

Categorización de las fuentes y principales vías de liberación del mercurio

Según el mencionado Instrumental, la actividad minera que ocurre en la RFI se corresponde con la categoría principal *producción primaria (virgen) de metales*, con la correspondiente subcategoría *extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio*; es decir, el mercurio se usa deliberadamente para extraer oro y plata a diferencia de otros procesos para la extracción de estos metales.

En este mismo instrumental, se realiza la descripción de la subcategoría, que se corresponde con los procedimientos descritos anteriormente para la explotación del oro, a saber: *grosso modo*, este proceso de minería se desarrolla de la siguiente manera: la mena húmeda (o lodo o concentrado de materiales mineralizados) se combina con mercurio metálico (líquido); el mercurio disgrega el oro o la plata en el lodo; el lodo sobrante se enjuaga y deja una amalgama de mercurio-oro (o mercurio-plata), después se calienta la amalgama para liberar el mercurio y queda el oro o la plata impuros. (UNEP, 2005)

Enfoque Nacional/General para el inventario

Seguidamente, es necesario definir el enfoque que se le dará al inventario. En el caso de algunas subcategorías, las fuentes reales podrían ser un determinado número de fuentes puntuales claramente definidas (con una ubicación geográfica específica), por lo general con características particulares por planta. En esos casos, se aplica el enfoque de fuentes puntuales. El cálculo de las liberaciones totales nacionales (o regionales) provenientes de esta subcategoría se define como la suma de las liberaciones de mercurio (calculadas con la Ecuación 1) para cada fuente puntual que exista en el país (o región).

En el caso de otras fuentes de mercurio el enfoque de fuentes puntuales podría ser irrelevante, difícil de implementar o simplemente no constituir la mejor opción. Entonces puede aplicarse un enfoque general. Cuando los datos disponibles son insuficientes para llevar a cabo un inventario con el enfoque de fuentes puntuales se recomienda la aplicación de un enfoque general.

Con base en la metodología anteriormente descrita y aplicándola a la subcategoría en cuestión, se obtiene la Tabla 2, la cual resume los Pasos 1 y 2 de la misma.

Tabla 2. *Categoría principal, subcategoría, principales vías de liberación y enfoque del inventario.*

Categoría Principal: Producción primaria (virgen) de metales						
Subcategoría	Principales vías de liberación				Desecho/ Residuo	Principal enfoque para inventario
	Aire	Agua	Tierra	Producto		
Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio.	X	X	X	-	-	EG

X: Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría.
EG: Enfoque Nacional/General

Fuente: UNEP, 2005.

Luego, el paso 3 define el objetivo fundamental del Instrumental, que es el cálculo de la liberación promedio anual para cada vía por cada proceso de liberación identificado, a partir de la ecuación 1.

$$Hg_{\text{liber a vía X}} = TA_X \times FE \times FDE_X \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$Hg_{\text{liber a vía X}}$ = liberación estimada de mercurio a la vía X.

TA_X = tasa de la actividad.

FE = factor de entrada.

FDE_X = factor de distribución de emisiones para la vía X.

Dicho de otra manera, las liberaciones estimadas de mercurio por año para cada vía se determinan multiplicando:

- La cantidad de materia prima procesada o productos manufacturados por unidad de tiempo, designado *tasa de la actividad*.

- Un *factor de entrada*: Para las subcategorías con sólo una etapa de ciclo de vida el factor de entrada es el contenido de mercurio (por ejemplo, en gramos de Hg) por unidad de materia prima procesada. Para las subcategorías con más de una etapa en el ciclo de vida, el factor de entrada se define etapa por etapa.
- La fracción o parte (sin unidades) de la entrada de mercurio que se libera a través de una vía en particular (aire, agua, tierra, producto, desecho general o tratamiento específico de desechos), denominada *factores de distribución de las emisiones*.

Factores de entrada y factores de distribución de salidas

Al no disponerse de información precisa sobre las entradas de mercurio, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI, indica un factor por defecto para el sector, haciendo la salvedad que, de no existir información sobre la extracción de menas completas o concentrados, así como el uso o no de retortas, es recomendable el cálculo de un intervalo utilizando los factores mínimos y máximos que se presentan en la tabla 3 para indicar el posible rango de entradas y tabla 4 para el de salidas.

Tabla 3. Factores *preliminares* de entrada por defecto para el consumo de mercurio debido a la extracción de oro con el proceso de amalgamación de mercurio.

Proceso	Factores de entrada por defecto (kg. de Hg/kg. de Au producido)
Extracción de la totalidad de la mena	3
Extracción a partir del concentrado	1
Extracción a partir del concentrado y con uso de retortas.	0,001

Fuente: UNEP, 2005.

Lacerda (1997) revisó la literatura sobre las cantidades calculadas de mercurio consumido por kg de oro producido con el proceso de amalgamación y reportó que, si bien los factores de entrada varían bastante, la mayoría cae en el intervalo de 1-2 kg de mercurio consumido por 1 kg de oro producido.

Tabla 4. Factores *preliminares* por defecto de distribución de salidas sugeridos para la extracción de oro con amalgamación de mercurio.

Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos Generales	Tratamiento / Disposición
Extracción de oro con procesos de amalgamación de mercurio	0,6	0,2	0,2	-	-	-

Nota: La distribución presentada se fundamenta en una base de datos sumamente limitada y se incluye con el objetivo principal de señalar que las liberaciones a estos medios pueden ser significativas. La distribución real en zonas específicas puede variar mucho debido a las diferentes condiciones de producción, características locales y tipos de mena/concentrados, y debe investigarse detalladamente para calificar los estimados.

Fuente: UNEP, 2005.

Para aplicar la metodología anteriormente expuesta se requiere información relacionada con la producción de oro producto de la minería artesanal en la Reserva Forestal Imataca. Esta información no ha sido posible obtenerla. Por esta razón, se utiliza, de manera preliminar, datos de la Organización World Global Council, publicados en el Diario El Nacional, de fecha

8 de junio de 2019, en el reportaje titulado *Venezuela: el rastro de las reservas de oro*, según el cual, la producción de oro en Venezuela fue de 23 toneladas en el año 2017.

Por tanto, dado que no se cuenta con datos de producción de oro de forma discriminada por regiones o estados, se considera entonces que toda la producción reportada (23 000 kg) ocurrió en el Área 4 del Arco Minero del Orinoco, cuya extensión total es de 40 149,69 km², en tanto que, de ésta, 23 085,13 km² penetran en la Reserva Forestal Imataca. De allí que se establece una relación ponderada para cuantificar la producción de oro en la RFI, estimándose en 13 225 kg de oro.

Luego, en función de la aplicación de la ecuación 1 con sus respectivos factores de entrada y de distribución de salidas, se obtiene la cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg) para el año 2017 en la Reserva Forestal Imataca, obteniéndose 26 450 kg de mercurio, distribuidos los diversos medios según: 15 870 kg en el aire, 5 290 kg en el agua y 5 290 kg en el suelo, tal como lo presenta la Tabla 8.

Se requiere información relacionada con la producción de oro producto de la minería artesanal en la Reserva Forestal Imataca. Tal como se ha señalado, esta información no ha sido posible obtenerla. Por esta razón se utilizan, de manera preliminar, datos de la Organización World Global Council, publicados en el reportaje *Venezuela: el rastro de las reservas de oro*, según el cual la producción de oro en Venezuela fue de 23 toneladas en el año 2017.

Partiendo de este dato y suponiendo que esa producción de oro (23 000 kg) ocurrió en el Área 4 del Arco Minero del Orinoco, cuya extensión es de 40 149,69 km² y tomando en consideración que, de ésta, 23 085,13 km² penetran en la RFI, se establece una relación ponderada para determinar cuánto de esa producción de oro corresponde a la RFI, obteniéndose un valor de 13 225 kg de oro.

En la Tabla 5 se presentan los resultados aplicando la metodología en cuestión y el dato de la producción de oro para el año 2017 en Venezuela, y de forma análoga, en la Tabla 6 se presentan los resultados para la RFI.

Tabla 5. *Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg), a nivel nacional. Año 2017.*

Entrada Total de mercurio (Hg)	Tasa de la Actividad. (kg Au/año)	Factor de Entrada. PNUMA 2005. (kg Hg/kg Au)	Entrada Estimada. (kg Hg/año)
	23 000,00	2	46 000,00
Vía de Liberación	Entrada Estimada. (kg Hg/año)	Factores de Distribución	Estimación de Emisiones de Hg
Aire		0,6	27 600,00
Agua	46 000,00	0,2	9 200,00
Suelo		0,2	9 200,00
TOTALES	46 000,00	1	46 000,00

Fuente: Elaboración Propia.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 6. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg) en la Reserva Forestal Imataca. Año 2017.

Entrada Total de mercurio (Hg)	Tasa de la Actividad. (kg Au/año)	Factor de Entrada. PNUMA 2005. (kg Hg/kg Au)	Entrada Estimada. (kg Hg/año)
	13 225,00	2	26 450,00
Vía de Liberación	Entrada Estimada. (kg Hg/año)	Factores de Distribución	Estimación de Emisiones de Hg
Aire		0,6	15 870,00
Agua	26 450,00	0,2	5 290,00
Suelo		0,2	5 290,00
TOTALES	26 450,00	1	26 450,00

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presenta en la Tabla 7 un resumen de la descripción de la metodología y los resultados de la cuantificación de las liberaciones de mercurio en la RFI.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla 7. Descripción de la Metodología y Resultados de la Aplicación de la Metodología para la Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio en la RFI.

Paso	Descripción de la metodología	Resultados de la aplicación de la metodología	Tablas y Ecuaciones Asociadas
Paso 1-	Aplicar una matriz de selección para identificar las principales categorías de las fuentes en el país o región a investigar, e identificar las descripciones disponibles de fuentes de mercurio en el país.	Se revisaron las bases de datos asociadas a la metodología y se observó que la actividad minera en la RFI se circunscribe a la Categoría Principal "Producción primaria (virgen) de metales", subcategoría "Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio", ya que estas actividades el mercurio se usa deliberadamente para extraer oro y plata a diferencia de otros procesos para la extracción de estos metales.	Tabla 3. Categoría principal, subcategoría, principales vías de liberación y enfoque del inventario.
Paso 2-	Clasificar las principales categorías de las fuentes para obtener subcategorías y reunir información cualitativa adicional a fin de identificar actividades y fuentes de liberaciones de mercurio presentes en el país; de ser posible, establecer la importancia relativa de cada una.		Esta Tabla resume los Pasos 1 y 2 de la presente metodología.

Fuente: Elaboración propia.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla 7. Descripción de la Metodología y Resultados de la Aplicación de la Metodología para la Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio en la RFI (continuación)

Paso	Descripción de la metodología	Resultados de la aplicación de la metodología	Tablas y Ecuaciones Asociadas
Paso 3-	<p>Reunir información cuantitativa detallada sobre las fuentes identificadas y cuantificar liberaciones con datos de fuentes específicas o factores por defecto de entrada y salida de distribución de mercurio a partir de este instrumental;</p>	<p>Se requieren los siguientes insumos de información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TAX = tasa de la actividad, es decir, la producción de oro atribuida a la minería artesanal en la RFI. En virtud de la poca o inexistente información oficial, se utilizará, de manera preliminar, un dato del World Global Council (Diario El Nacional, 2019), según el cual la producción de oro en Venezuela fue de 23 toneladas en el año 2017. • FE = factor de entrada, tomado la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI, indica un factor por defecto para el sector, dado que no se cuenta con información precisa de las entradas de Hg en la RFI. • $FDEX$ = factor de distribución de emisiones para la vía X. <p>Esta información permitirá el cálculo de la liberación estimada de mercurio a la vía X ($Hg_{\text{liber a vía X}}$) a través de la ecuación 1.</p> <p>También se consideró la relación que expresa Lacerda (1997) quien señala que la mayoría de los factores de entrada caen en el intervalo de 1-2 kg de mercurio consumido por 1 kg de oro producido.</p>	<p>Ecuación 1:</p> $Hg_{\text{liber a vía X}} = TAX \times FE \times FDEX$ <p>$Hg_{\text{liber a vía X}}$ = Liberación estimada de mercurio a la vía X TAX = tasa de la actividad FE = factor de entrada $FDEX$ = factor de distribución de emisiones para la vía X.</p> <p>Tabla 4. Factores <u>preliminares</u> de entrada por defecto para el consumo de mercurio debido a la extracción de oro con el proceso de amalgamación de mercurio.</p> <p>Tabla 5. Factores <u>preliminares</u> por defecto de distribución de salidas sugeridos para la extracción de oro con amalgamación de mercurio.</p> <p>Tabla 7. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg). Año 2017.</p>



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 7. Descripción de la Metodología y Resultados de la Aplicación de la Metodología para la Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio en la RFI (continuación)

Paso	Descripción de la metodología	Resultados de la aplicación de la metodología	Tablas y Ecuaciones Asociadas
Paso 4-	Aplicar en la escala nacional para establecer el inventario y presentar un informe de resultados con base en la orientación proporcionada en el formulario normalizado.	Ahora bien, suponiendo que esa producción de oro (23 000 kg) ocurrió en el Área 4 del Arco Minero del Orinoco, cuya extensión es de 40 149,69 km ² y tomando en consideración que de ésta, 23 085,13 km ² penetran en la Reserva Forestal de Imataca, se puede establecer una relación para determinar cuánto de esa producción de oro corresponde a la Reserva Forestal de Imataca, obteniéndose un valor de 13 225 kg. de oro. La Tabla 8 da cuenta de esta nueva estimación.	Tabla 7. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg). Año 2017. Tabla 8. Cuantificación de mercurio (Hg) con amalgamación sin uso de retorta (recuperación de Hg). Año 2017, en la Reserva Forestal de Imataca.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12.3

Estimación de erosión y sedimentación de las cuencas aportantes de la Reserva Forestal Imataca

Para la estimación de la erosión y sedimentación de las diferentes subcuencas aportantes en la RFI, primero se delimitaron las subcuencas, luego se estimaron los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas, seguidamente se calculó las diferentes tasas de erosión y la respectiva clasificación de las subcuencas y finalmente se estimó la producción de sedimentos y su volumen para las diferentes subcuencas. En el capítulo 11 se explica detalladamente la metodología empleada para la estimación de los diferentes apartados.

2. Delimitación de las diferentes subcuencas aportantes en la RFI.

La Tabla 1 y la Figura 1 muestran las diferentes subcuencas aportantes en la RFI. Se resalta que la suma total de las superficies es superior al de la RFI debido a que varias subcuencas salen del área de la Reserva.

Tabla 1. *Subcuencas aportantes en la RFI.*

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje	
		Kilómetros cuadrados (Km ²)	Hectárea (ha)
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	1 197 100,00
	2- Supamo	4 666,12	466 612,00
	3- Yuruan	21 029,81	2 102 981,00
	4- Alto Coyuni	4 888,44	488 844,00
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	4 059 316,00
	6- Botanamo	6 638,46	663 846,00
	7- Moracuani	729,96	72 996,00
	8- Aguas Negras	365,69	36 569,00
	9- Acarabisi	244,56	24 456,00
	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	172 405,00
Subcuencas del Delta	11- Rio Grande	3 215,81	321 581,00
	12- Aguirre	4 485,74	448 574,00
	13- Coyubuni	11 374,36	1 137 436,00

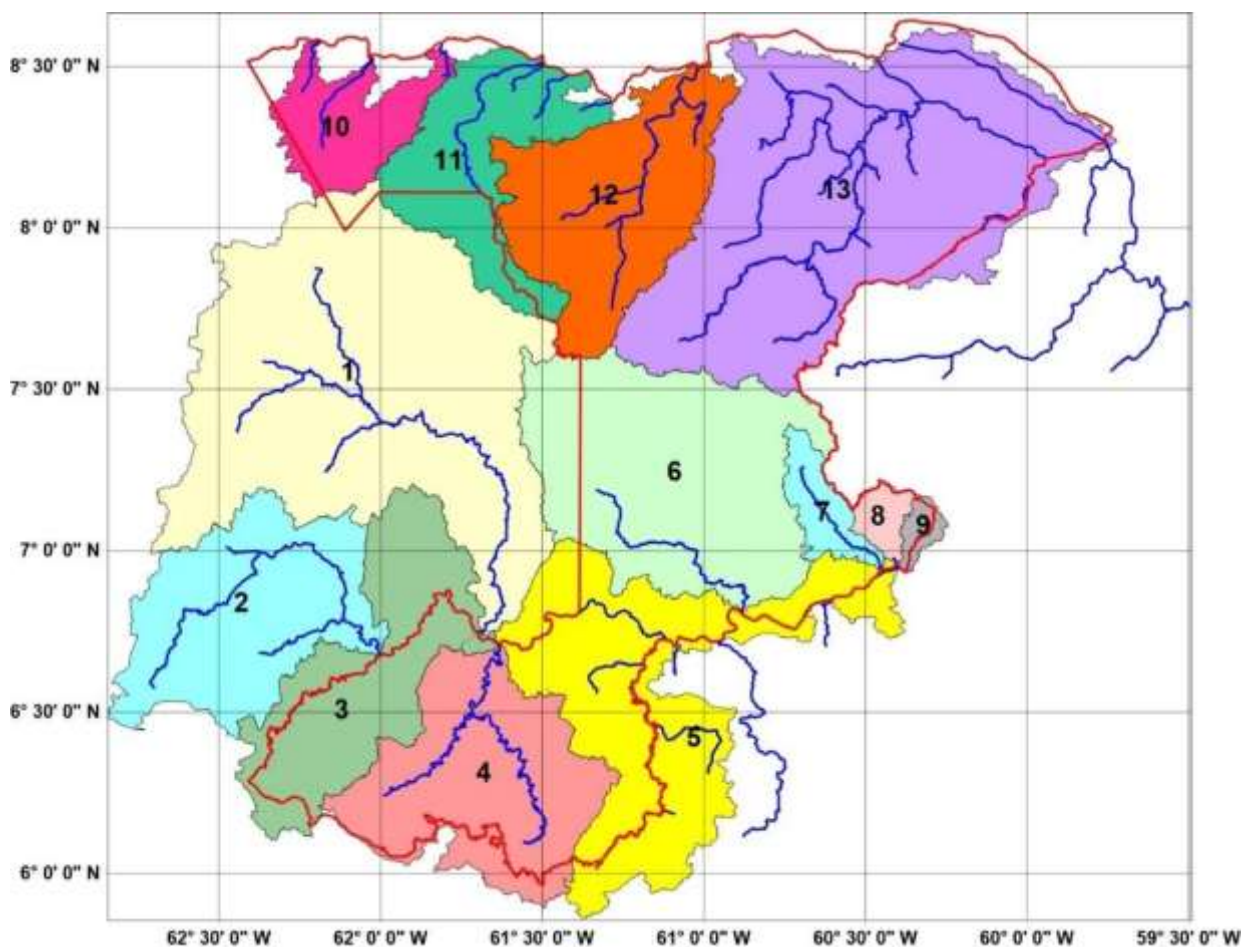


Figura 1. Subcuencas aportantes a la RFI.

3. Estimación de los valores K, R, LS, C, P para aplicar la USLE en las subcuencas

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se presentan de manera ilustrativa la representación en mapas de los factores K, R, LS y C de las diferentes subcuencas aportantes a la RFI.

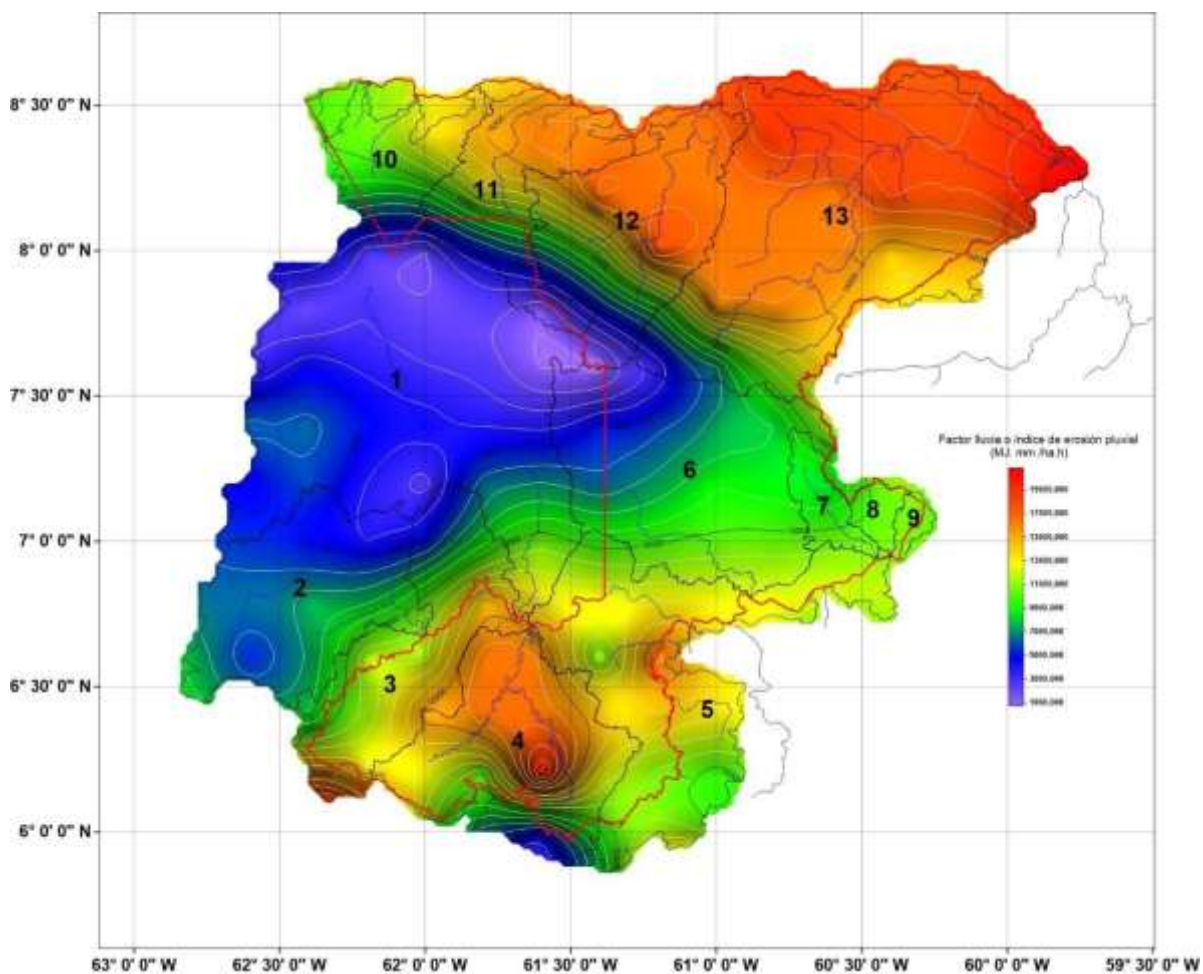


Figura 2. Factor R o erosividad de la lluvia

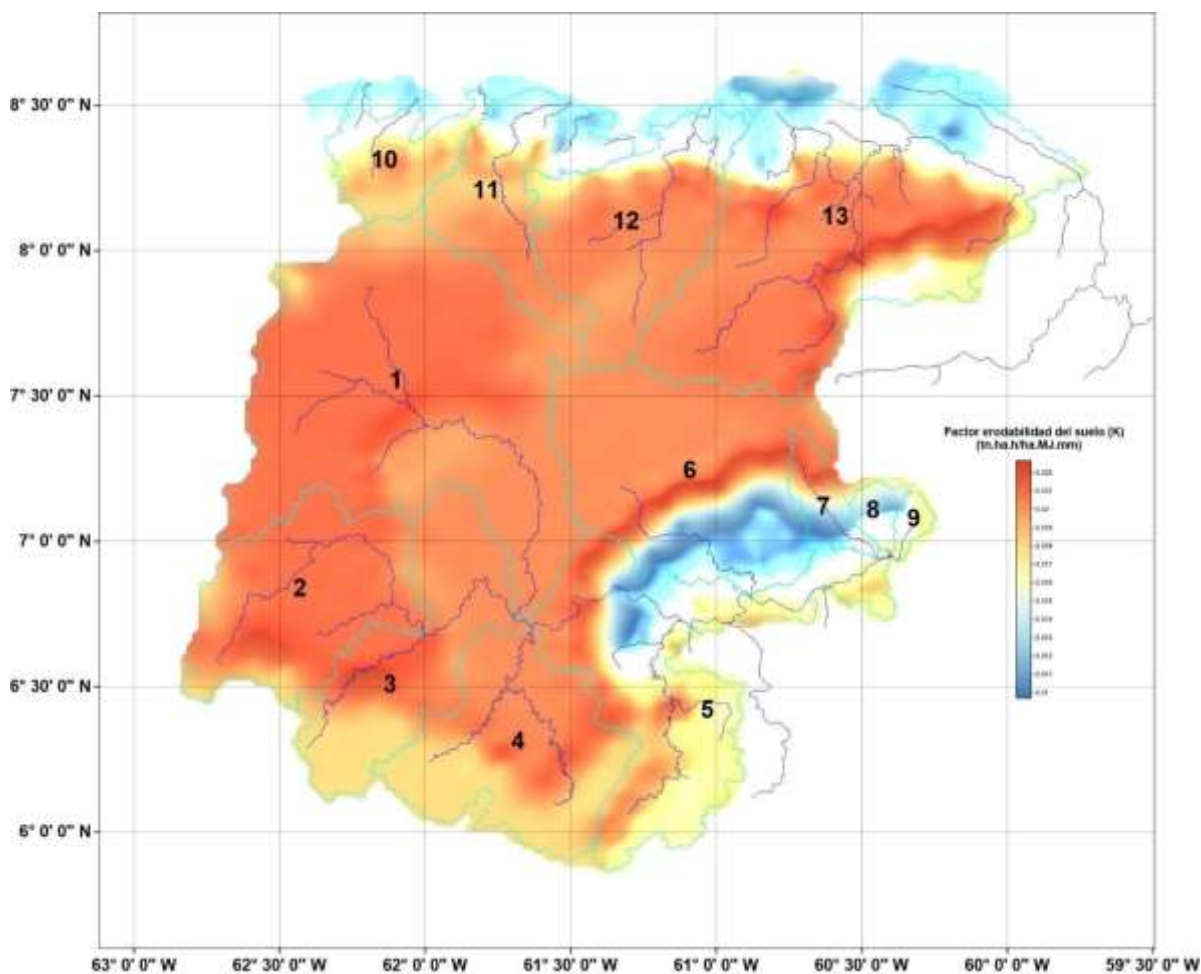


Figura 3. Factor K relacionado con la erosionabilidad del suelo

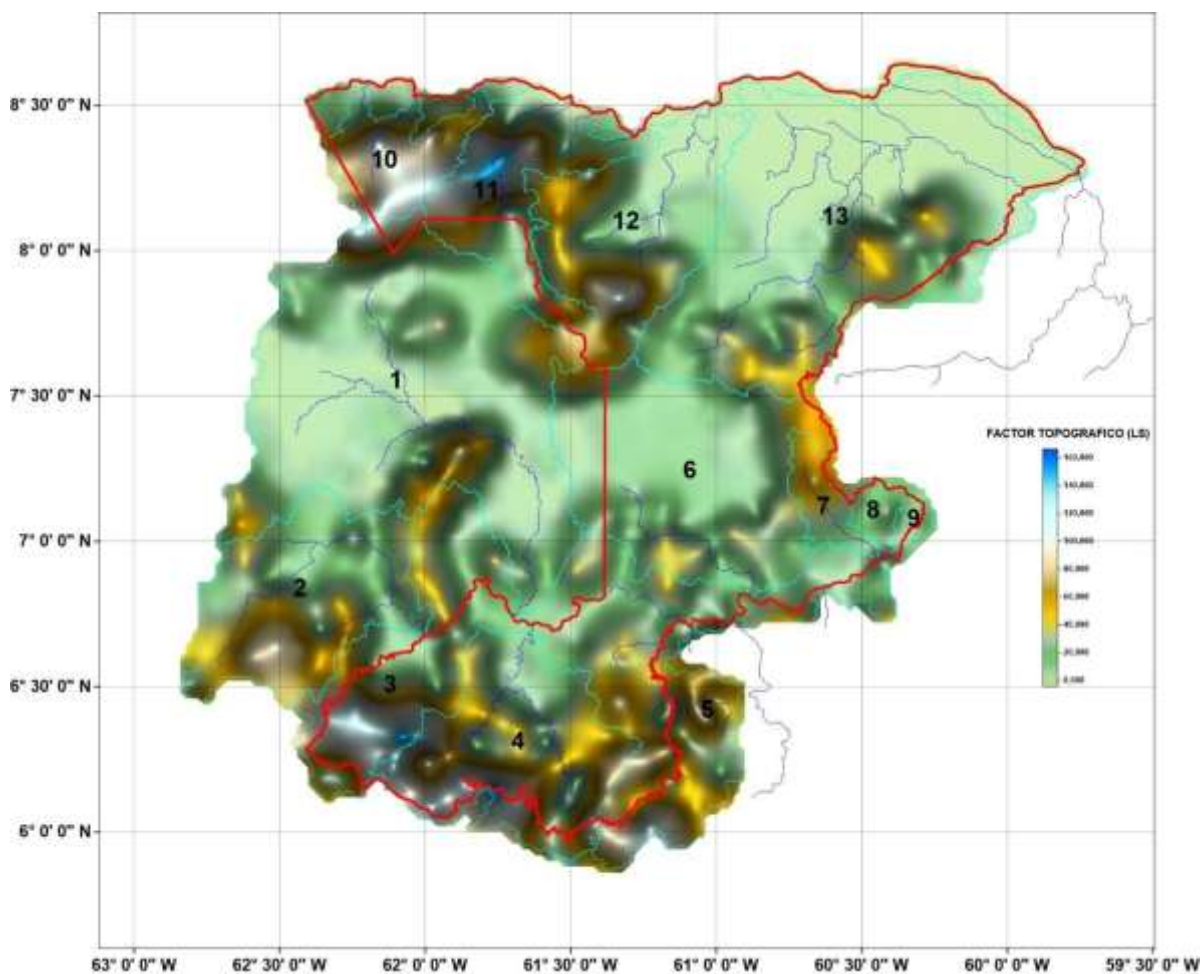


Figura 4. Factor topográfico, LS

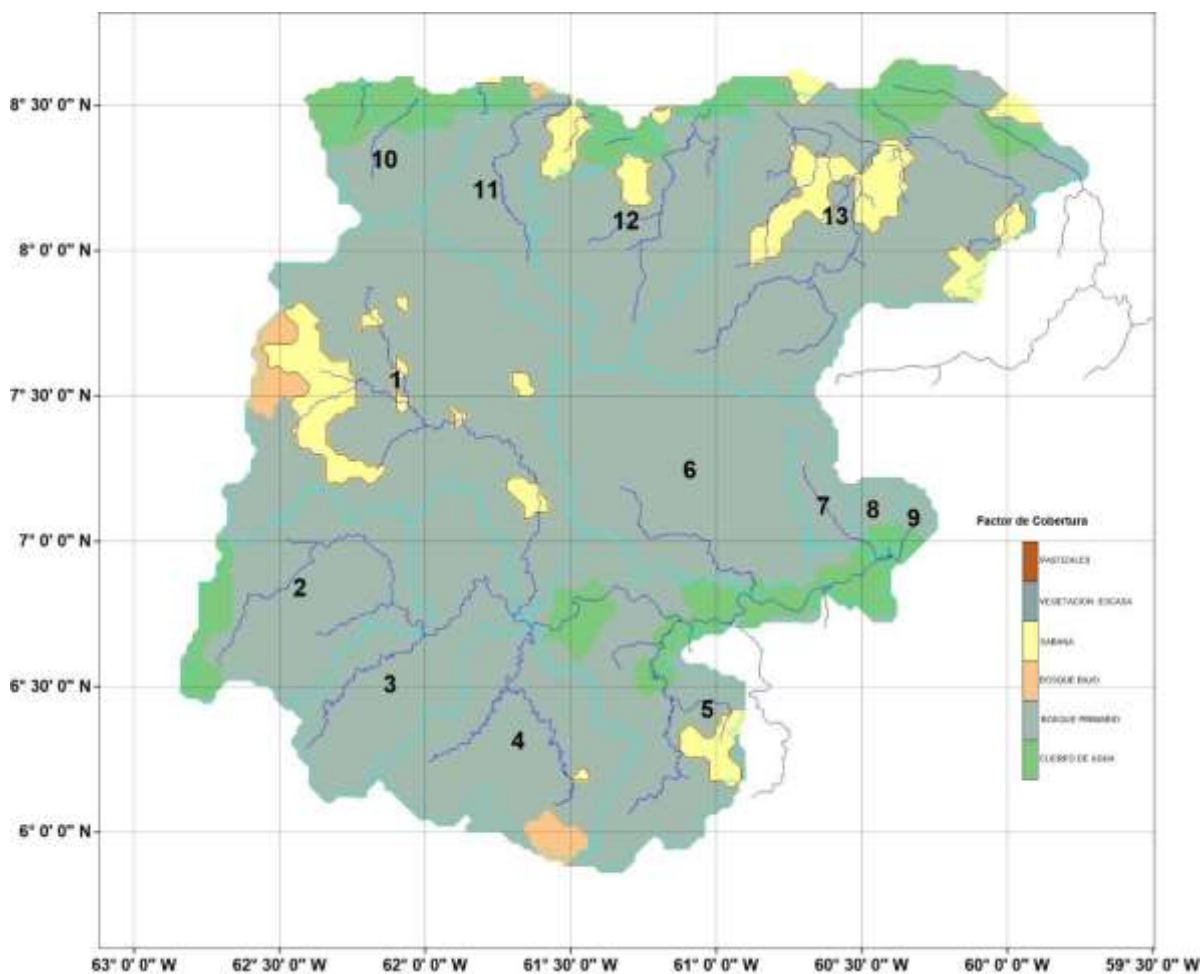


Figura 5. Factor de Cobertura, C

3. Cálculo de las diferentes tasas de erosión de las subcuencas y su clasificación

La Tabla 2 y la Figura 6 presentan las diferentes tasas de erosión y la clasificación de las subcuencas consideradas.

Tabla 2. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.

Sector	Subcuenca	Superficie, Km ²	Tasa de erosión, t/ha*año	Calificación
Subcuencas del Coyuni	1-Yurauri	11 971,00	3,16	Nula a ligera
	2-Supamo	4 666,12	9,02	Nula a ligera
	3-Yuruan	4 392,69	22,08	Moderada
	4- Alto Coyuni	4 888,44	30,44	Moderada
	5- Venamo-Coyuni	6 696,24	19,00	Moderada
	6-Botanamo	6 638,46	4,39	Nula a ligera
	7-Moracuani	729,96	11,04	Moderada
	8- Aguas Negras	365,69	4,16	Nula a ligera
	9-Acarabisi	244,56	2,55	Nula a ligera
Producción de las subcuencas del Coyuni		40 593,16	12,10	Moderada
Subcuencas del Delta	10-Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	28,2	Moderada
	11- Rio Grande	3 215,81	28,99	Moderada
	12-Aguirre	4 485,74	14,76	Moderada
	13-Coyubuni	11 374,36	7,68	Nula a ligera
Producción de las subcuencas del Delta		20 799,96	14,22	Moderada
Total de los 2 sectores		61 393,12	12,82	Moderada
Reserva Forestal Imataca (RFI)		38 200,00	14,68	Moderada

Fuente: Cálculos propios y clasificación establecida por FAO-PNUMA-UNESCO

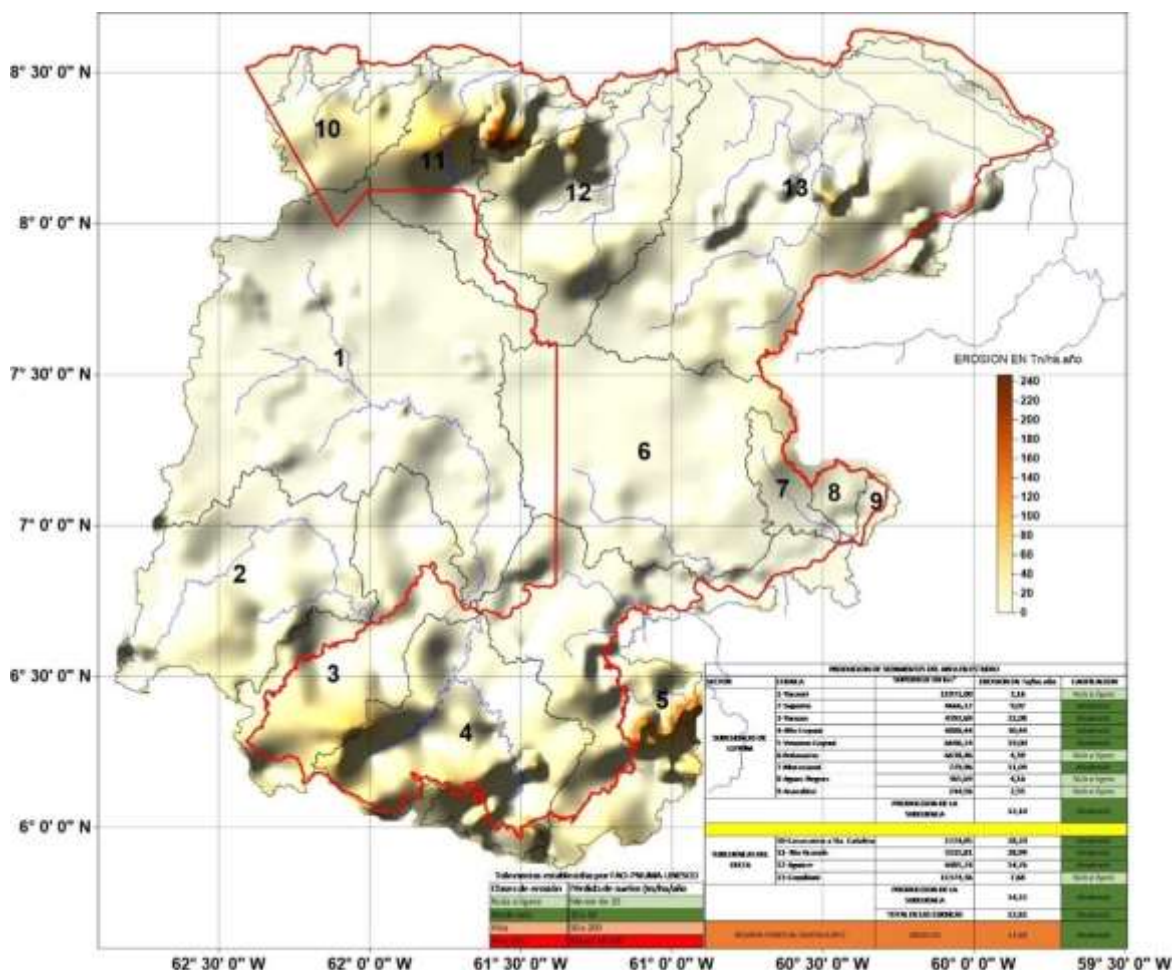


Figura 6. Erosión en t/ha*año en las 13 subcuencas consideradas y en la Reserva Forestal Imataca (RFI), así como su clasificación.

Se encontró que ocho de las trece subcuencas consideradas presentan erosión moderada. Las otras cinco subcuencas presentan erosión nula a ligera. Además, nueve subcuencas pertenecen al sector Coyuní. Es decir, que pertenecen a la cuenca del Coyuní. De éstas, cinco se clasifican de erosión moderada y cuatro de nula a ligera. En términos promedio, este sector se clasifica de erosión moderada. cuatro subcuencas pertenecen al sector del Delta. Es decir, que descargan en el Delta del Orinoco. De estas tres, se clasifican de erosión moderada y una de nula a ligera. En términos promedio, este sector se clasifica de erosión moderada.

Dentro de la Reserva, la erosión se puede clasificar como moderada.

4. Cálculo de la producción de sedimentos y su volumen de las diferentes subcuencas.

La Tabla 3 presenta la producción de sedimentos y su volumen por las diferentes subcuencas aportantes.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tabla 3. Producción de sedimentos por las diferentes subcuencas aportantes.

Sector	Subcuenca	Superficie Total de Drenaje, Km ²	Tasa de Erosión Ponderada t/ha* ^{año}	Producción Total de Sedimentos m ³ /año
Subcuencas del Coyuní	1- Yurauri	11 971,00	3,16	2 911 696,89
	2- Supamo	4 666,12	9,02	3 238 049,31
	3- Yuruan	21 029,81	8,41	13 610 851,1
	4- Alto Coyuni	4 888,44	30,44	11 445 511,61
	5- Venamo-Coyuni	40 593,16	12,13	37 872 087,07
	6- Botanamo	6 638,46	4,39	2 242 688,96
	7- Moracuani	729,96	11,04	619 852,70
	8- Aguas Negras	365,69	4,16	116 967,56
	9- Acarabisi	244,56	2,55	47 894,48
Subcuencas del Delta	10- Casacoima a Sta. Catalina	1 724,05	28,2	3 739 483,07
	11- Rio Grande	3 215,81	28,99	7 170 613,80
	12- Aguirre	4 485,74	14,76	5 093 065,74
	13- Coyubuni	11 374,36	7,68	6 720 812,72

Anexo 12.4. Área y Volumen de Sedimentos y de Enrocado requerido para el control de sedimentos

Tabla A-1. Datos de Inicio

SUB-CUENCAS	RIO	OBSERVACION	ANCHO DEL CAUCE (m)		PENDIENTE MEDIA (%)	
			Medido	Promedio	Medida	Promedio
RIO CUYUNI	YURUARI	CUENCA ALTA	25,43	48,08	1,6	1,23
		CUENCA MEDIA	46,85		1,2	
		CUENCA BAJA	71,95		0,9	
	SUPAMO	CUENCA ALTA	52,36	72,61	2,3	1,8
		CUENCA MEDIA	71,39		1,6	
		CUENCA BAJA	94,09		1,5	
	YURUAN	CUENCA ALTA	68,18	204,63	1,9	2,3
		CUENCA MEDIA	115,1		3,6	
		CUENCA BAJA	430,61		1,4	
	ALTO CUYUNI	CUENCA ALTA	11,38	19,89	3,3	2,9
		CUENCA MEDIA	19,59		2,9	
		CUENCA BAJA	28,71		2,4	
	VENAMO-CUYUNI	CUENCA ALTA	25,43	48,08	1,6	1,2
		CUENCA MEDIA	46,85		1,2	
		CUENCA BAJA	71,95		0,9	
	BOTANAMO	CUENCA ALTA	19,8	34,30	2,5	3,6
		CUENCA MEDIA	22,4		6,3	
		CUENCA BAJA	60,7		1,95	
MORACUANI	CUENCA ALTA	5,48	11,57	1,4	2,2	
	CUENCA MEDIA	8,75		2,7		
	CUENCA BAJA	20,47		2,6		
AGUAS NEGRAS.	CUENCA ALTA	5,24	10,95	0,9	0,8	
	CUENCA MEDIA	9,5		0,7		
	CUENCA BAJA	18,1		0,7		
ACARABISI	CUENCA ALTA	3,8	7,55	1,3	1,0	
	CUENCA MEDIA	6,1		0,8		
	CUENCA BAJA	12,76		0,8		
DELTA DEL RIO ORINOCO	CASACOIMA A SANTA CATALINA.	CUENCA ALTA	5	7,10	5,0	3,3
		CUENCA MEDIA	7,8		4,0	
		CUENCA BAJA	8,5		1,0	
	RIO GRANDE	CUENCA ALTA	34,9	40,39	1,4	1,0
		CUENCA MEDIA	35,38		1,1	
		CUENCA BAJA	50,9		0,4	
	AGUIRRE	CUENCA ALTA	33	82,33	4,0	2,9
		CUENCA MEDIA	34		4,1	
		CUENCA BAJA	180		0,6	
	CUIYUBINI	CUENCA ALTA	17,39	80,60	2,4	1,8
		CUENCA MEDIA	65,68		1,9	
		CUENCA BAJA	158,74		1,2	



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-2. Río Yuruari: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
YURUARI	48,08	1,2	0,8	1,00	34,50	1.658,65	121,62	5.847,16
				2,00	56,00	2.692,29	486,49	23.388,65
				3,00	82,50	3.966,33	1.094,59	52.624,46
				4,00	114,00	5.480,74	1.945,95	93.554,59
				5,00	150,50	7.235,54	3.040,54	146.179,05
				6,00	192,00	9.230,72	4.378,38	210.497,84
				7,00	238,50	11.466,29	5.959,46	286.510,95
				8,00	290,00	13.942,23	7.783,78	374.218,38
				9,00	346,50	16.658,57	9.851,35	473.620,14
				10,00	408,00	19.615,28	12.162,16	584.716,22
				11,00	474,50	22.812,38	14.716,22	707.506,62
				12,00	546,00	26.249,86	17.513,51	841.991,35
				13,00	622,50	29.927,73	20.554,05	988.170,41
				14,00	704,00	33.845,97	23.837,84	1.146.043,78
				15,00	790,50	38.004,61	27.364,86	1.315.611,49
				16,00	882,00	42.403,62	31.135,14	1.496.873,51
				17,00	978,50	47.043,02	35.148,65	1.689.829,86
				18,00	1.080,00	51.922,80	39.405,41	1.894.480,54
				19,00	1.186,50	57.042,97	43.905,41	2.110.825,54
				20,00	1.298,00	62.403,51	48.648,65	2.338.864,86



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-3. Río Supamo: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
SUPAMO	72,61	1,8	1,2	1,00	34,50	2.505,16	83,33	6.051,11
				2,00	56,00	4.066,35	333,33	24.204,44
				3,00	82,50	5.990,60	750,00	54.460,00
				4,00	114,00	8.277,92	1.333,33	96.817,78
				5,00	150,50	10.928,31	2.083,33	151.277,78
				6,00	192,00	13.941,76	3.000,00	217.840,00
				7,00	238,50	17.318,28	4.083,33	296.504,44
				8,00	290,00	21.057,87	5.333,33	387.271,11
				9,00	346,50	25.160,52	6.750,00	490.140,00
				10,00	408,00	29.626,24	8.333,33	605.111,11
				11,00	474,50	34.455,03	10.083,33	732.184,44
				12,00	546,00	39.646,88	12.000,00	871.360,00
				13,00	622,50	45.201,80	14.083,33	1.022.637,78
				14,00	704,00	51.119,79	16.333,33	1.186.017,78
				15,00	790,50	57.400,84	18.750,00	1.361.500,00
				16,00	882,00	64.044,96	21.333,33	1.549.084,44
				17,00	978,50	71.052,15	24.083,33	1.748.771,11
				18,00	1.080,00	78.422,40	27.000,00	1.960.560,00
				19,00	1.186,50	86.155,72	30.083,33	2.184.451,11
20,00	1.298,00	94.252,11	33.333,33	2.420.444,44				



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-4. Río Yuruan: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
YURUAN	204,63	2,3	1,5	1,00	34,50	7.059,74	65,22	13.345,43
				2,00	56,00	11.459,28	260,87	53.381,74
				3,00	82,50	16.881,98	586,96	120.108,91
				4,00	114,00	23.327,82	1.043,48	213.526,96
				5,00	150,50	30.796,82	1.630,43	333.635,87
				6,00	192,00	39.288,96	2.347,83	480.435,65
				7,00	238,50	48.804,26	3.195,65	653.926,30
				8,00	290,00	59.342,70	4.173,91	854.107,83
				9,00	346,50	70.904,30	5.282,61	1.080.980,22
				10,00	408,00	83.489,04	6.521,74	1.334.543,48
				11,00	474,50	97.096,94	7.891,30	1.614.797,61
				12,00	546,00	111.727,98	9.391,30	1.921.742,61
				13,00	622,50	127.382,18	11.021,74	2.255.378,48
				14,00	704,00	144.059,52	12.782,61	2.615.705,22
				15,00	790,50	161.760,02	14.673,91	3.002.722,83
				16,00	882,00	180.483,66	16.695,65	3.416.431,30
				17,00	978,50	200.230,46	18.847,83	3.856.830,65
				18,00	1.080,00	221.000,40	21.130,43	4.323.920,87
				19,00	1.186,50	242.793,50	23.543,48	4.817.701,96
				20,00	1.298,00	265.609,74	26.086,96	5.338.173,91



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-5. Río Alto Cuyuní: Área y Volumen de Enrocado; Área y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Área Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Área Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
ALTO CUYUNI	19,89	2,9	1,9	1,00	34,50	686,32	52,33	1.040,93
				2,00	56,00	1.114,03	209,30	4.163,72
				3,00	82,50	1.641,20	470,93	9.368,37
				4,00	114,00	2.267,84	837,21	16.654,88
				5,00	150,50	2.993,95	1.308,14	26.023,26
				6,00	192,00	3.819,52	1.883,72	37.473,49
				7,00	238,50	4.744,56	2.563,95	51.005,58
				8,00	290,00	5.769,07	3.348,84	66.619,53
				9,00	346,50	6.893,04	4.238,37	84.315,35
				10,00	408,00	8.116,48	5.232,56	104.093,02
				11,00	474,50	9.439,39	6.331,40	125.952,56
				12,00	546,00	10.861,76	7.534,88	149.893,95
				13,00	622,50	12.383,60	8.843,02	175.917,21
				14,00	704,00	14.004,91	10.255,81	204.022,33
				15,00	790,50	15.725,68	11.773,26	234.209,30
				16,00	882,00	17.545,92	13.395,35	266.478,14
				17,00	978,50	19.465,63	15.122,09	300.828,84
				18,00	1.080,00	21.484,80	16.953,49	337.261,40
				19,00	1.186,50	23.603,44	18.889,53	375.775,81
				20,00	1.298,00	25.821,55	20.930,23	416.372,09



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-6. Río Venamo-Cuyuní: Área y Volumen de Enrocado; Área y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Área Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Área Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
VENAMO-CUYUNI	48,08	1,2	0,8	1,00	34,50	1.658,65	121,62	5.847,16
				2,00	56,00	2.692,29	486,49	23.388,65
				3,00	82,50	3.966,33	1.094,59	52.624,46
				4,00	114,00	5.480,74	1.945,95	93.554,59
				5,00	150,50	7.235,54	3.040,54	146.179,05
				6,00	192,00	9.230,72	4.378,38	210.497,84
				7,00	238,50	11.466,29	5.959,46	286.510,95
				8,00	290,00	13.942,23	7.783,78	374.218,38
				9,00	346,50	16.658,57	9.851,35	473.620,14
				10,00	408,00	19.615,28	12.162,16	584.716,22
				11,00	474,50	22.812,38	14.716,22	707.506,62
				12,00	546,00	26.249,86	17.513,51	841.991,35
				13,00	622,50	29.927,73	20.554,05	988.170,41
				14,00	704,00	33.845,97	23.837,84	1.146.043,78
				15,00	790,50	38.004,61	27.364,86	1.315.611,49
				16,00	882,00	42.403,62	31.135,14	1.496.873,51
				17,00	978,50	47.043,02	35.148,65	1.689.829,86
				18,00	1.080,00	51.922,80	39.405,41	1.894.480,54
				19,00	1.186,50	57.042,97	43.905,41	2.110.825,54
				20,00	1.298,00	62.403,51	48.648,65	2.338.864,86



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-7. Río Botanamo: Área y Volumen de Enrocado; Área y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauze (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauze (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Área Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Área Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
BOTANAMO	34,30	3,6	2,4	1,00	34,50	1.183,35	41,86	1.435,81
				2,00	56,00	1.920,80	167,44	5.743,26
				3,00	82,50	2.829,75	376,74	12.922,33
				4,00	114,00	3.910,20	669,77	22.973,02
				5,00	150,50	5.162,15	1.046,51	35.895,35
				6,00	192,00	6.585,60	1.506,98	51.689,30
				7,00	238,50	8.180,55	2.051,16	70.354,88
				8,00	290,00	9.947,00	2.679,07	91.892,09
				9,00	346,50	11.884,95	3.390,70	116.300,93
				10,00	408,00	13.994,40	4.186,05	143.581,40
				11,00	474,50	16.275,35	5.065,12	173.733,49
				12,00	546,00	18.727,80	6.027,91	206.757,21
				13,00	622,50	21.351,75	7.074,42	242.652,56
				14,00	704,00	24.147,20	8.204,65	281.419,53
				15,00	790,50	27.114,15	9.418,60	323.058,14
				16,00	882,00	30.252,60	10.716,28	367.568,37
				17,00	978,50	33.562,55	12.097,67	414.950,23
				18,00	1.080,00	37.044,00	13.562,79	465.203,72
				19,00	1.186,50	40.696,95	15.111,63	518.328,84
				20,00	1.298,00	44.521,40	16.744,19	574.325,58



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-8. Río Moracuani: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
MORACUANI	11,57	2,2	1,5	1,00	34,50	399,05	67,16	776,87
				2,00	56,00	647,73	268,66	3.107,46
				3,00	82,50	954,25	604,48	6.991,79
				4,00	114,00	1.318,60	1.074,63	12.429,85
				5,00	150,50	1.740,78	1.679,10	19.421,64
				6,00	192,00	2.220,80	2.417,91	27.967,16
				7,00	238,50	2.758,65	3.291,04	38.066,42
				8,00	290,00	3.354,33	4.298,51	49.719,40
				9,00	346,50	4.007,85	5.440,30	62.926,12
				10,00	408,00	4.719,20	6.716,42	77.686,57
				11,00	474,50	5.488,38	8.126,87	94.000,75
				12,00	546,00	6.315,40	9.671,64	111.868,66
				13,00	622,50	7.200,25	11.350,75	131.290,30
				14,00	704,00	8.142,93	13.164,18	152.265,67
				15,00	790,50	9.143,45	15.111,94	174.794,78
				16,00	882,00	10.201,80	17.194,03	198.877,61
				17,00	978,50	11.317,98	19.410,45	224.514,18
				18,00	1.080,00	12.492,00	21.761,19	251.704,48
				19,00	1.186,50	13.723,85	24.246,27	280.448,51
20,00	1.298,00	15.013,53	26.865,67	310.746,27				



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-9. Río Aguas Negras: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
AGUAS NEGRAS	10,95	0,8	0,5	1,00	34,50	377,66	195,65	2.141,74
				2,00	56,00	613,01	782,61	8.566,96
				3,00	82,50	903,10	1.760,87	19.275,65
				4,00	114,00	1.247,92	3.130,43	34.267,83
				5,00	150,50	1.647,47	4.891,30	53.543,48
				6,00	192,00	2.101,76	7.043,48	77.102,61
				7,00	238,50	2.610,78	9.586,96	104.945,22
				8,00	290,00	3.174,53	12.521,74	137.071,30
				9,00	346,50	3.793,02	15.847,83	173.480,87
				10,00	408,00	4.466,24	19.565,22	214.173,91
				11,00	474,50	5.194,19	23.673,91	259.150,43
				12,00	546,00	5.976,88	28.173,91	308.410,43
				13,00	622,50	6.814,30	33.065,22	361.953,91
				14,00	704,00	7.706,45	38.347,83	419.780,87
				15,00	790,50	8.653,34	44.021,74	481.891,30
				16,00	882,00	9.654,96	50.086,96	548.285,22
				17,00	978,50	10.711,31	56.543,48	618.962,61
				18,00	1.080,00	11.822,40	63.391,30	693.923,48
				19,00	1.186,50	12.988,22	70.630,43	773.167,83
20,00	1.298,00	14.208,77	78.260,87	856.695,65				



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-10. Río Acarabisi: Área y Volumen de Enrocado; Área y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Área Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Área Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
ACARABISI	7,55	1,0	0,6	1,00	34,50	260,59	155,17	1.172,07
				2,00	56,00	422,99	620,69	4.688,28
				3,00	82,50	623,15	1.396,55	10.548,62
				4,00	114,00	861,08	2.482,76	18.753,10
				5,00	150,50	1.136,78	3.879,31	29.301,72
				6,00	192,00	1.450,24	5.586,21	42.194,48
				7,00	238,50	1.801,47	7.603,45	57.431,38
				8,00	290,00	2.190,47	9.931,03	75.012,41
				9,00	346,50	2.617,23	12.568,97	94.937,59
				10,00	408,00	3.081,76	15.517,24	117.206,90
				11,00	474,50	3.584,06	18.775,86	141.820,34
				12,00	546,00	4.124,12	22.344,83	168.777,93
				13,00	622,50	4.701,95	26.224,14	198.079,66
				14,00	704,00	5.317,55	30.413,79	229.725,52
				15,00	790,50	5.970,91	34.913,79	263.715,52
				16,00	882,00	6.662,04	39.724,14	300.049,66
				17,00	978,50	7.390,94	44.844,83	338.727,93
				18,00	1.080,00	8.157,60	50.275,86	379.750,34
				19,00	1.186,50	8.962,03	56.017,24	423.116,90
				20,00	1.298,00	9.804,23	62.068,97	468.827,59



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-12. Río Supamo: Costo Presa Enrocado en USD. Tasa de Cambio: 3,34 S/USD.

Río	Altura Presa (H)	Volumen Enrocado (Vi)	Costo Dique	Obras Provisionales.	Trabajos Preliminares.	Movimiento de Tierra.	Costo Presa Enrocado.	Costo Presa Enrocado.	Volumen Sedimentos (Vj)	
	(m)	(m ³)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	US (\$)	(m ³)	
SUPAMO	1	2.505,16	458.444,28	76.968,00	1.126,82	184.150,00	720.689,10	215.775,18	6.051,11	
	2	4.066,35	744.141,44				1.006.386,26	301.313,25	24.204,44	
	3	5.990,60	1.096.279,80				1.358.524,62	406.743,90	54.460,00	
	4	8.277,92	1.514.859,36				1.777.104,18	532.067,12	96.817,78	
	5	10.928,31	1.999.880,12				2.262.124,94	677.282,92	151.277,78	150.013,21
	6	13.941,76	2.551.342,08				2.813.586,90	842.391,29	217.840,00	1.264,57
	7	17.318,28	3.169.245,24				3.431.490,06	1.027.392,23	296.504,44	
	8	21.057,87	3.853.589,60				4.115.834,42	1.232.285,75	387.271,11	
	9	25.160,52	4.604.375,16				4.866.619,98	1.457.071,85	490.140,00	
	10	29.626,24	5.421.601,92				5.683.846,74	1.701.750,52	605.111,11	
	11	34.455,03	6.305.269,88				6.567.514,70	1.966.321,77	732.184,44	
	12	39.646,88	7.255.379,04				7.517.623,86	2.250.785,59	871.360,00	
	13	45.201,80	8.271.929,40				8.534.174,22	2.555.141,98	1.022.637,78	
	14	51.119,79	9.354.920,96				9.617.165,78	2.879.390,95	1.186.017,78	
	15	57.400,84	10.504.353,72				10.766.598,54	3.223.532,50	1.361.500,00	
	16	64.044,96	11.720.227,68				11.982.472,50	3.587.566,62	1.549.084,44	
	17	71.052,15	13.002.542,84				13.264.787,66	3.971.493,31	1.748.771,11	
	18	78.422,40	14.351.299,20				14.613.544,02	4.375.312,58	1.960.560,00	
	19	86.155,72	15.766.496,76				16.028.741,58	4.799.024,43	2.184.451,11	
	20	94.252,11	17.248.135,52				17.510.380,34	5.242.628,84	2.420.444,44	

OP= 76.968,00 S/

TP= 1.126,82 S/

MT= 184.150,00 S/

Tabla A-11. Río Yuruari: Costo Presa Enrocado en USD. Tasa de Cambio: 3,34 S/USD.

Río	Altura Presa (H)	Volumen Enrocado (Vi)	Costo Dique	Obras Provisionales.	Trabajos Preliminares.	Movimiento de Tierra.	Costo Presa Enrocado.	Costo Presa Enrocado.	Volumen Sedimentos (Vj)
	(m)	(m ³)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	US (\$)	(m ³)
	1	1.658,65	303.532,04				565.776,86	169.394,27	5.847,16
	2	2.692,29	492.689,68				754.934,50	226.028,29	23.388,65



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-13. Río Yuruan: Costo Presa Enrocado en USD. Tasa de Cambio: 3,34 S/USD

Río	Altura Presa (H)	Volumen Enrocado (V)	Costo Dique	Obras Provisionales.	Trabajos Preliminares.	Movimiento de Tierra.	Costo Presa Enrocado.	Costo Presa Enrocado.	Volumen Sedimentos (V)
	(m)	(m ³)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	(S/)	US (\$)	(m ³)
YURUAN	1	7.059,74	1.291.931,51	76.968,00	1.126,82	184.150,00	1.554.176,33	465.322,25	13.345,43
	2	11.459,28	2.097.048,24				2.359.293,06	706.375,17	53.381,74
	3	16.881,98	3.089.401,43				3.351.646,25	1.003.486,90	120.108,91
	4	23.327,82	4.268.991,06				4.531.235,88	1.356.657,45	213.526,96
	5	30.796,82	5.635.817,15				5.898.061,97	1.765.886,82	333.635,87
	6	39.288,96	7.189.879,68				7.452.124,50	2.231.175,00	480.435,65
	7	48.804,26	8.931.178,67				9.193.423,49	2.752.522,00	653.926,30
	8	59.342,70	10.859.714,10				11.121.958,92	3.329.927,82	854.107,83
	9	70.904,30	12.975.485,99				13.237.730,81	3.963.392,46	1.080.980,22
	10	83.489,04	15.278.494,32				15.540.739,14	4.652.915,91	1.334.543,48
	11	97.096,94	17.768.739,11				18.030.983,93	5.398.498,18	1.614.797,61
	12	111.727,98	20.446.220,34				20.708.465,16	6.200.139,27	1.921.742,61
	13	127.382,18	23.310.938,03				23.573.182,85	7.057.839,18	2.255.378,48
	14	144.059,52	26.362.892,16				26.625.136,98	7.971.597,90	2.615.705,22
	15	161.760,02	29.602.082,75				29.864.327,57	8.941.415,44	3.002.722,83
	16	180.483,66	33.028.509,78				33.290.754,60	9.967.291,80	3.416.431,30
	17	200.230,46	36.642.173,27				36.904.418,09	11.049.226,97	3.856.830,65
	18	221.000,40	40.443.073,20				40.705.318,02	12.187.220,96	4.323.920,87
	19	242.793,50	44.431.209,59				44.693.454,41	13.381.273,77	4.817.701,96
	20	265.609,74	48.606.582,42				48.868.827,24	14.631.385,40	5.338.173,91

351.023,88
129.411,77

OP= 76.968,00 S/
TP= 1.126,82 S/
MT= 184.150,00 S/



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-17. Río Moracuani: Costo Presa Enrocado en USD. Tasa de Cambio: 3,34 S/USD

Río	Altura Presa (H) (m)	Volumen Enrocado (V) (m³)	Costo Dique (S/)	Obras Provisionales. (S/)	Trabajos Preliminares. (S/)	Movimiento de Tierra. (S/)	Costo Presa Enrocado. (S/)	Costo Presa Enrocado. US (\$)	Volumen Sedimentos (V) (m³)	
MORACUANI	1	399,05	73.026,15	76.968,00	1.126,82	184.150,00	335.270,97	100.380,53	776,87	
	2	647,73	118.535,20				380.780,02	114.005,99	3.107,46	
	3	954,25	174.627,75				436.872,57	130.800,17	6.991,79	
	4	1.318,60	241.303,80				503.548,62	150.763,06	12.429,85	
	5	1.740,78	318.563,35				580.808,17	173.894,66	19.421,64	
	6	2.220,80	406.406,40				668.651,22	200.194,98	27.967,16	
	7	2.758,65	504.832,95				767.077,77	229.664,00	38.066,42	
	8	3.354,33	613.843,00				876.087,82	262.301,74	49.719,40	46.086,85
	9	4.007,85	733.436,55				995.681,37	298.108,19	62.926,12	3.632,55
	10	4.719,20	863.613,60				1.125.858,42	337.083,36	77.686,57	
	11	5.488,38	1.004.374,15				1.266.618,97	379.227,24	94.000,75	
	12	6.315,40	1.155.718,20				1.417.963,02	424.539,83	111.868,66	
	13	7.200,25	1.317.645,75				1.579.890,57	473.021,13	131.290,30	
	14	8.142,93	1.490.156,80				1.752.401,62	524.671,14	152.265,67	
	15	9.143,45	1.673.251,35				1.935.496,17	579.489,87	174.794,78	
	16	10.201,80	1.866.929,40				2.129.174,22	637.477,31	198.877,61	
	17	11.317,98	2.071.190,95				2.333.435,77	698.633,46	224.514,18	
	18	12.492,00	2.286.036,00				2.548.280,82	762.958,33	251.704,48	
	19	13.723,85	2.511.464,55				2.773.709,37	830.451,91	280.448,51	
	20	15.013,53	2.747.476,60				3.009.721,42	901.114,20	310.746,27	
OP=	76.968,00	S/								
TP=	1.126,82	S/								
MT=	184.150,00	S/								



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-20. Río Casacoima a Santa Catalina: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
CASACOIMA A SANTA CATALINA	7,10	3,3	2,2	1,00	34,50	244,95	45,00	319,50
				2,00	56,00	397,60	180,00	1.278,00
				3,00	82,50	585,75	405,00	2.875,50
				4,00	114,00	809,40	720,00	5.112,00
				5,00	150,50	1.068,55	1.125,00	7.987,50
				6,00	192,00	1.363,20	1.620,00	11.502,00
				7,00	238,50	1.693,35	2.205,00	15.655,50
				8,00	290,00	2.059,00	2.880,00	20.448,00
				9,00	346,50	2.460,15	3.645,00	25.879,50
				10,00	408,00	2.896,80	4.500,00	31.950,00
				11,00	474,50	3.368,95	5.445,00	38.659,50
				12,00	546,00	3.876,60	6.480,00	46.008,00
				13,00	622,50	4.419,75	7.605,00	53.995,50
				14,00	704,00	4.998,40	8.820,00	62.622,00
				15,00	790,50	5.612,55	10.125,00	71.887,50
				16,00	882,00	6.262,20	11.520,00	81.792,00
				17,00	978,50	6.947,35	13.005,00	92.335,50
18,00	1.080,00	7.668,00	14.580,00	103.518,00				
19,00	1.186,50	8.424,15	16.245,00	115.339,50				
20,00	1.298,00	9.215,80	18.000,00	127.800,00				



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-21. Río Grande : Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S ₀) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
RIO GRANDE	40,39	1,0	0,6	1,00	34,50	1.393,57	155,17	6.267,93
				2,00	56,00	2.262,03	620,69	25.071,72
				3,00	82,50	3.332,45	1.396,55	56.411,38
				4,00	114,00	4.604,84	2.482,76	100.286,90
				5,00	150,50	6.079,20	3.879,31	156.698,28
				6,00	192,00	7.755,52	5.586,21	225.645,52
				7,00	238,50	9.633,81	7.603,45	307.128,62
				8,00	290,00	11.714,07	9.931,03	401.147,59
				9,00	346,50	13.996,29	12.568,97	507.702,41
				10,00	408,00	16.480,48	15.517,24	626.793,10
				11,00	474,50	19.166,64	18.775,86	758.419,66
				12,00	546,00	22.054,76	22.344,83	902.582,07
				13,00	622,50	25.144,85	26.224,14	1.059.280,34
				14,00	704,00	28.436,91	30.413,79	1.228.514,48
				15,00	790,50	31.930,93	34.913,79	1.410.284,48
				16,00	882,00	35.626,92	39.724,14	1.604.590,34
				17,00	978,50	39.524,88	44.844,83	1.811.432,07
				18,00	1.080,00	43.624,80	50.275,86	2.030.809,66
				19,00	1.186,50	47.926,69	56.017,24	2.262.723,10
20,00	1.298,00	52.430,55	62.068,97	2.507.172,41				



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-22. Río Aguirre : Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
AGUIRRE	82,33	2,9	1,9	1,00	34,50	2.840,50	51,72	4.258,62
				2,00	56,00	4.610,67	206,90	17.034,48
				3,00	82,50	6.792,50	465,52	38.327,59
				4,00	114,00	9.386,00	827,59	68.137,93
				5,00	150,50	12.391,17	1.293,10	106.465,52
				6,00	192,00	15.808,00	1.862,07	153.310,34
				7,00	238,50	19.636,50	2.534,48	208.672,41
				8,00	290,00	23.876,67	3.310,34	272.551,72
				9,00	346,50	28.528,50	4.189,66	344.948,28
				10,00	408,00	33.592,00	5.172,41	425.862,07
				11,00	474,50	39.067,17	6.258,62	515.293,10
				12,00	546,00	44.954,00	7.448,28	613.241,38
				13,00	622,50	51.252,50	8.741,38	719.706,90
				14,00	704,00	57.962,67	10.137,93	834.689,66
				15,00	790,50	65.084,50	11.637,93	958.189,66
				16,00	882,00	72.618,00	13.241,38	1.090.206,90
				17,00	978,50	80.563,17	14.948,28	1.230.741,38
				18,00	1.080,00	88.920,00	16.758,62	1.379.793,10
				19,00	1.186,50	97.688,50	18.672,41	1.537.362,07
				20,00	1.298,00	106.868,67	20.689,66	1.703.448,28



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Tabla A-23. Río Coyobuní: Area y Volumen de Enrocado; Area y Volumen de Sedimentos.

Río	Ancho Cauce (B) (Promedio). (m)	Pendiente Cauce (S _o) (Promedio). (%)	Pendiente de Compensación (S _c). (%)	Altura Presa (H) (m)	Area Enrocado (A _i) (m ²)	Volumen Enrocado (V _i) (m ³)	Area Sedimentos (A _j) (m ²)	Volumen Sedimentos (V _j) (m ³)
CUYUBINI	80,60	1,8	1,2	1,00	34,50	2.780,82	81,82	6.594,82
				2,00	56,00	4.513,79	327,27	26.379,27
				3,00	82,50	6.649,78	736,36	59.353,36
				4,00	114,00	9.188,78	1.309,09	105.517,09
				5,00	150,50	12.130,80	2.045,45	164.870,45
				6,00	192,00	15.475,84	2.945,45	237.413,45
				7,00	238,50	19.223,90	4.009,09	323.146,09
				8,00	290,00	23.374,97	5.236,36	422.068,36
				9,00	346,50	27.929,06	6.627,27	534.180,27
				10,00	408,00	32.886,16	8.181,82	659.481,82
				11,00	474,50	38.246,28	9.900,00	797.973,00
				12,00	546,00	44.009,42	11.781,82	949.653,82
				13,00	622,50	50.175,58	13.827,27	1.114.524,27
				14,00	704,00	56.744,75	16.036,36	1.292.584,36
				15,00	790,50	63.716,94	18.409,09	1.483.834,09
				16,00	882,00	71.092,14	20.945,45	1.688.273,45
				17,00	978,50	78.870,36	23.645,45	1.905.902,45
				18,00	1.080,00	87.051,60	26.509,09	2.136.721,09
				19,00	1.186,50	95.635,86	29.536,36	2.380.729,36
				20,00	1.298,00	104.623,13	32.727,27	2.637.927,27



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 13

Valoración Ambiental y Económica de la Conservación de la Biodiversidad en la Reserva Forestal Imataca

Resumen

Los SE de conservación de la biodiversidad son los beneficios de regulación obtenidos de los ecosistemas del bosque. Estos servicios mejoran la calidad de vida. En la Reserva Forestal Imataca tales servicios son la conservación de la vegetación y la fauna.

La valoración económica de este servicio contribuyó a la aplicación de un Protocolo para la Valoración Ambiental y Económica de la Reserva, lo cual puede servir de base para justificar su conservación por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible, así como, la elaboración de incentivos económicos que apoyen dicha conservación.

Por otro lado, la valoración económica de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad ayudará al diseño de políticas de aprovechamiento, su regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales e incrementar la sensibilización ambiental respecto a la misma.

La valoración ambiental de la conservación de la biodiversidad permitió inferir que el Bosque Siempreverde Húmedo Tropical es la unidad dominante de vegetación de la RFI, cubriendo un 69% del área total de la Reserva, seguido del Bosque Siempreverde estacional (12%) y del Bosque de Pantano (15%). El resto de las unidades vegetales comprende el 4% del área total. Asimismo, se encontró que el Bosque Siempreverde Húmedo Tropical se distribuye en toda la zona central y sur de la RFI, mientras que el Bosque Siempreverde Estacional se encuentra en la zona noroeste y el Bosque de Pantano ocupa la zona noreste de la Reserva. Los Manglares están confinados en la zona costera de la Reserva y el resto de unidades se encuentran marginadas a la zona norte del Bosque Siempreverde Estacional.

A partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación se determinó una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias. La vegetación presenta un buen estado de conservación. Sin embargo, la deforestación se ha incrementado paulatinamente en la zona sur de la Reserva.

Se encontró que la principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera. Y que existen 13 especies vegetales amenazadas en la RFI.

Desde el punto de vista de fauna, en la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente, se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpia, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestre*.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El valor de conservación de la RFI, usando un método basado en costo, es 22,67 USD/ha al año. Con las Reservas del caso, éste puede ser asumido como el valor para toda la Reserva.

El principal aspecto relevante de los resultados encontrados, es que el presente estudio es uno de los pioneros del uso de un método basado en costo en la valoración económica de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad del país. Asimismo, el uso del Manejo Adaptativo como programa de conservación de la biodiversidad.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los servicios ecosistémicos de conservación de la biodiversidad de la RFI fueron: La falta de información sobre ecosistemas, genes y especies que caracterizan la biodiversidad de la RFI; de éstas, sólo se cuenta con mayor información de ecosistemas; falta identificar muchas especies florísticas y faunísticas; la inexistencia de mercados formales de productos derivados de la biodiversidad; la alta dispersión de la información relacionada con la biodiversidad de la RFI; la carencia de proyectos de conservación de la biodiversidad en la zona; las recurrentes fallas de electricidad e internet afectaron el desarrollo del trabajo; razones políticas que redujeron la accesibilidad a la zona.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Introducción

La pérdida de la diversidad biológica y el cambio climático son, sin duda alguna, las dos preocupaciones más importantes que manifiestan los ecólogos a nivel mundial, puesto que, a pesar de los esfuerzos realizados en las últimas décadas, el riesgo de extinción de las especies, ecosistemas y paisajes es cada vez mayor. El Convenio sobre la Diversidad Biológica de Naciones Unidas reconoce que la conservación de la biodiversidad es un interés común de toda la humanidad y tiene una importancia crítica para satisfacer sus necesidades básicas.

Venezuela es uno de los 17 países megadiversos, principalmente debido a su posición en la intersección de las regiones biogeográficas Amazónica, Andina, Caribeña y Guayanesa. La cobertura de vegetación en el país es de aproximadamente 75 millones de hectáreas, integrada por una diversidad de comunidades vegetales boscosas, arbustivas y herbáceas que representan el 87,7% del territorio nacional.

La superficie forestal del país se administra bajo diversas Figuras, como son las Reservas Forestales, Lotes Boscosos y Áreas Boscosas Bajo Protección. Las Reservas Forestales abarcan el 34% de la superficie mencionada (16,3 millones ha), aunque el mal manejo de estas ha generado una pérdida muy significativa de la cobertura boscosa, llegando a prácticamente desaparecer en las Reservas forestales del pie de monte andino. Las Reservas Forestales se deben destinar a la producción permanente de productos forestales sin menoscabo de sus funciones protectoras, recreacionales y científicas; bajo el criterio de rendimiento continuo o sostenido a través de planes de manejo. Por tanto, su valor económico va mucho más allá al de los servicios ecosistémicos correspondientes a la madera extraída de las mismas.

Las metodologías para la valoración económica varían en función de la necesidad o producto a evaluar, éstas se categorizan según el uso que se vaya a dar del recurso valorado. Por ejemplo, el valor de conservar el banco de genes de los cultivos agrícolas se puede calcular refiriéndose al valor de aquella parte de las especies que actualmente está siendo comercializada, al valor de las mejorías obtenidas en las propiedades de dichos cultivos mediante la reproducción y al costo de acumular y mantener el banco de genes utilizado para dicha reproducción. Este método todavía no ha sido adoptado para las especies de árboles forestales. (Gregersen *et al.* 1997).

Gran parte del recurso genético mundial se encuentra en los bosques tropicales, por lo que existe un gran interés para atribuir valores a las especies que aún no se utilizan. Sin embargo, dado que los productos potencialmente útiles adquieren valor sólo después que han sido producidos y comercializados, surge el problema acerca de qué parte del eventual valor puede ser atribuido a su origen en el bosque (Gregersen *et al.* 1997). Este problema tiende a reforzar el valor de existencia de los bosques tropicales, que no es más que el valor que las personas atribuyen a su existencia independientemente de los valores de los usos particulares. La estimación de estos valores se efectúa con distintos métodos de análisis de la disposición a pagar del consumidor (Gregersen *et al.* 1997). Asimismo, el valor de los bosques tropicales en términos de microclima, clima y atmósfera podría ser evaluado a través de los efectos en la producción (o de los costos de los gastos preventivos) originados por los cambios climáticos y atmosféricos, asociados con alteraciones de la extensión o de la composición de los bosques tropicales. En la práctica, las



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



relaciones entre los cambios forestales y los cambios atmosféricos todavía no se comprenden completamente, por lo tanto, se podría intentar una comprensión sólo especulativamente. (Gregersen et al. 1997)

Una alternativa para valorar la biodiversidad consiste en emplear software como el *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST), con el que se elaboran modelos que permiten mapear y valorar los bienes y servicios ecosistémicos que sustentan y satisfacen la vida humana. InVEST ofrece a los tomadores de decisiones la posibilidad de evaluar las compensaciones cuantificadas asociadas a opciones de manejo alternativas e identificar áreas donde la inversión en capital natural puede mejorar el desarrollo humano y la conservación. El conjunto de herramientas actualmente incluye dieciocho modelos distintos de servicios ecosistémicos diseñados para ecosistemas terrestres, de agua dulce, marinos y costeros, así como una serie de "herramientas auxiliares" para ayudar a localizar y procesar datos de entrada y para comprender y visualizar salidas.

A pesar de la gran variedad de metodologías existentes para la estimación del valor de la biodiversidad, el error de estimación asociado a áreas de alta biodiversidad y un bajo conocimiento de esta, como es el caso de la Reserva Forestal Imataca, amerita la aplicación de métodos basados en costos para la valoración. Dado que no se puede conocer el valor de lo que no se conoce, una alternativa razonable es valorar el costo asociado a conservar la biodiversidad de la Reserva bajo el marco legal existente definido el Plan de Ordenamiento y Uso de esta.

En el marco de lo antes descrito, se determinó, a partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación, una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias. Por otro lado, se encontró que la RFI presenta un buen estado de conservación de la vegetación. Sin embargo, la deforestación se ha incrementado paulatinamente en la zona sur de la Reserva.

Aunado a lo anterior, se estimó que la principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera y que existen 13 especies vegetales amenazadas en la RFI.

Desde el punto de vista de fauna, en la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpia, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestris*.

El valor de conservación de la RFI es de 22,67 USD. Con las Reservas del caso, éste puede ser asumido como el valor para toda la Reserva.

En este orden de ideas, este apartado se inicia con la presente introducción, continúa con el marco teórico, sigue con la descripción de la metodología, las limitaciones encontradas para realizar la valoración económica, los resultados y hallazgos y finaliza con las conclusiones y recomendaciones.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2. Marco Teórico

Para la conservación de la biodiversidad y de especies en peligro de extinción, se usa como método de valoración económica al costo de medidas de prevención, corrección, mitigación o compensación.

El enfoque de los costos asume que la determinación de estos refleja en cierta manera el valor de los servicios ecosistémicos, SE, a valorar. Es decir, que el valor del SE está determinado por los costos que se incurre actual o potencialmente para conservar el SE, ya sea con medidas de compensación, corrección, mitigación o compensación.

Un punto importante para resaltar es si la valoración del SE refleja el costo de la medida más el costo de las pérdidas a la sociedad por restringir ciertas actividades, o si solo refleja alguna de las dos. Al realizar la valoración debe indicarse bajo cual óptica se está haciendo el análisis. En términos teóricos debe tener los dos costos. Sin embargo, por efectos de tiempo, disponibilidad de información y presupuesto, en la mayoría de los casos se hace una de las dos, preferiblemente el del costo de las medidas.

El valor del SE encontrado con este método refleja un valor mínimo del mismo, pues los gastos van a estar restringidos por razones presupuestarias para los responsables de aplicar las medidas.

La principal desventaja del método es la carencia de información precisa sobre los costos, sobre todo cuando se calculan para áreas extensas. Así mismo, la falta de información sobre el SE a valorar.

En sí mismos, estos métodos no valoran al SE directamente, sino al impacto o daño que pueda ser causado por intervenciones humanas o naturales sobre el SE. Por ejemplo, el incendio de un bosque va a traer pérdidas de los SE de éste. Los gastos que se incurran para prevenir, corregir, mitigar o compensar los efectos del incendio sobre el bosque representan la valoración mínima que se tiene sobre los SE del mismo.

La premisa fundamental para aplicar estos métodos es que los agentes económicos están dispuestos a realizar los gastos para prevenir, corregir, mitigar o compensar los impactos sobre los SE.

Los costos de prevención se refieren a todos los gastos realizados para prevenir que el impacto o daño sobre el SE no ocurra.

Los costos de corrección son aquellos gastos realizados para corregir el impacto o daño, con la condición de que el SE vuelva a su condición original antes del evento.

Los costos de mitigación son aquellos gastos realizados para mitigar el impacto o daño, con la condición de que el SE no vuelva a su condición original antes del evento, pero si a una cercana. Es decir que queda un pasivo ambiental pues no se corrige por completo el impacto o daño sobre el SE.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los costos de compensación son aquellos gastos que se realizan fuera del área del impacto o daño debido a que estos son irreversibles. Los costos se ejecutan en otra zona tratando de asemejar al SE que se ha impactado o dañado.

En términos generales los costos son:

- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento
- Costos administrativos
- Costos externos
- Costos de seguridad
- Costos de oportunidad

Los costos de inversión corresponden a los gastos en materiales, equipos, mano de obras y otros insumos, entre otras, para construir o adquirir la medida de prevención, corrección, mitigación o compensación necesaria.

Los costos de operación y mantenimiento son para garantizar el funcionamiento de la medida.

Por su parte, los gastos administrativos se refieren a los gastos asociados a los procesos administrativos de los dos costos anteriores.

Los costos externos corresponden a aquellos costos que la propia medida de prevención, corrección, mitigación o compensación acarrea. Por ejemplo, si se realiza una reforestación con especies introducidas en un área, puede haber efectos sobre la biodiversidad de la zona.

Los costos de seguridad se refieren a que se garantice que la medida siga funcionando por largo tiempo. Un ejemplo, los costos de conservación de cuencas para medidas que buscan suplir recursos hídricos afectados de un bosque.

Los costos de oportunidad son los beneficios sacrificados al implementar la medida. Por ejemplo, si se construyen terrazas en un área para mitigar el efecto erosivo de las lluvias, se reducirá el área de cultivo en la misma. Lo que se deja de producir por dicha reducción es el costo de oportunidad.

En la práctica, generalmente, se usan solo los costos de inversión, operación, mantenimiento y administrativos, este en algunos casos.

El indicador económico usado para valorar los costos de prevención, corrección, mitigación o compensación es el valor presente de los costos o valor actual de los costos, VPC ó VAC.

La ecuación general utilizada es:

$$VPC = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + I_0$$

(Ecuación 13.1)



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Donde:

t son cada uno de los años de la medida;

n la vida útil en años de esta;

Ct los costos en cada uno de los años;

i la tasa de descuento o actualización para traer valores futuros al presente,
generalmente 12% en Venezuela y,

lo si se realizan una inversión en el año 0.

En caso de que quiera presentar el VPC por años se usa el Costo Anual Equivalente, CAE; así, las ecuaciones a utilizar son:

$$CAE = VPC * FRC$$

(Ecuación 13.2)

Donde FRC es el Factor de Recuperación de Capital, reseñado como:

$$FRC = \frac{\tilde{r}_1 + r \tilde{r}^{N * i}}{\tilde{r}_1 + r \tilde{r}^N - 1}$$

(Ecuación 13.3)

Donde

N es el número de años para lo cual se va a calcular el CAE, generalmente se toma como n;

r corresponde a la tasa que se quiere usar para el cálculo de CAE, generalmente se toma como i.

Después de obtener el CAE, el costo anual por superficie de un Plan, programa o proyecto, se determina con la siguiente ecuación:

$$CAS = \frac{CAE}{Sup}$$

(Ecuación 13.4)

Donde:

CAS es el costo anual por superficie del Plan en USD/ha;

CAE es el costo anual equivalente del Plan, USD,

Sup es la superficie del área de estudio del Plan, programa o proyecto, ha.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



3. Metodología

Para alcanzar los objetivos previstos, el trabajo se dividió en dos aspectos principales:

- Valoración ambiental de la biodiversidad de la RFI
- Valoración económica de la conservación de la biodiversidad de la RFI.

3.1. Valoración ambiental de la biodiversidad de la RFI

En la valoración ambiental, mediante la revisión de diversas fuentes de información, se caracterizó la vegetación y la fauna presente en la RFI.

Para el caso de la vegetación se determinó la clasificación de esta siguiendo lo propuesto por Berroterán (2003). Por otro lado, usando el mismo autor, se determinaron las unidades de vegetación. En el marco de las unidades de vegetación se identificaron los diversos macroecosistemas dentro de cada una de ellas.

Se realizó una lista de las especies vegetales reportadas a partir del año 2007 a partir de las siguientes publicaciones: Lozada *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2010; Lozada *et al.*, 2011; Fernández *et al.*, 2013; Díaz y Díaz, 2014; Hernández y Lozada; 2017, y, Lozada *et al.*, 2017; con el fin de tener conocimiento de la riqueza vegetal en la RFI.

La evaluación del estado de conservación de la vegetación de la RFI se realizó mediante la determinación del índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI, por su sigla en inglés) (Chuvioco, 2006 y Meneses-Tovar, 2011).

Se determinó el grado de amenaza de la vegetación usando como factores: los centros poblados, las vías de acceso terrestre y fluvial, y las áreas de concesiones forestales y mineras. Para cada uno de estos factores se determinó el área de afectación de estos.

Se determinó, usando el Libro Rojo de la Flora Venezolana (Llamozas, *et al.* 2003), las especies vegetales de la RFI con algún grado de amenaza.

Usando diversos autores se elaboró un listado de especies medicinales presentes en la Reserva.

Para el caso de la fauna, se elaboró un listado de macroinvertebrados acuáticos y vertebrados.

En los vertebrados, se confeccionó lista de peces, herpetofauna, aves y mamíferos de la RFI. Asimismo, se determinaron las especies de fauna amenazadas.

También se elaboró lista de especies cinegéticas y con potencial de cacería de subsistencia. Finalizando con el listado de la base GBIF.

3.2. Valoración económica de la conservación de la biodiversidad de la RFI

Para abordar este punto primero se realizó una descripción de las bases legales para la conservación de la biodiversidad en la RFI. A continuación, se describió el Manejo Adaptativo



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



como programa de conservación de la biodiversidad en la Reserva, lo cual sirve de base para la valoración económica de este servicio ecosistémico.

Se diseñaron, con base en la revisión bibliográfica, cinco programas de manejo adaptativo y se estimaron los costos de estos.

Calculando el valor presente de los costos, se estimó el costo anual equivalente de los programas. Usando la superficie a conservar, se determinó el costo por superficie anual de la conservación de la biodiversidad.

Este valor calculado sirve de referencia como el valor económico de la conservación de la biodiversidad en la RFI.

4. Limitaciones

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración económica de conservación de la biodiversidad de la RFI fueron:

- La falta de información sobre ecosistemas, genes y especies que caracterizan la biodiversidad de la RFI. De éstas, sólo se cuenta con más información de ecosistemas. Falta identificar muchas especies florísticas y faunísticas.
- La inexistencia de mercados formales de productos derivados de la biodiversidad.
- La alta dispersión de la información relacionada con la biodiversidad de la RFI.
- La carencia de proyectos de conservación de la biodiversidad en la zona.
- Las recurrentes fallas de electricidad e internet afectaron el desarrollo del trabajo.
- Razones políticas que redujeron la accesibilidad a la zona.

5. Hallazgos y resultados

5.1. Valoración ambiental de la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca

La República Bolivariana de Venezuela es uno de los países con mayor diversidad biológica, debido en buena medida a la presencia de numerosos paisajes, en los que se pueden apreciar gradientes ecológicos altamente complejos y contrastantes. La distribución espacial de las especies presentes en nuestro país, permite reconocer 11 Biorregiones (Mittermeier *et al.* 1997 y 1998; Huber y Alarcón, 1988; MARN, 2001 y McNeely *et al.*, 1990). La Biorregión Guayana es la que presenta mayor diversidad de especies, puesto que posee aproximadamente el 50% de las plantas vasculares y el 74% de los mamíferos del país (Szeplaki *et al.*, 2001; Lasso *et al.*, 2010; y Aymard *et al.*, 2011). Asimismo, presenta un alto grado de endemismo, lo que se ve reflejado en que, de las 8 000 especies de plantas vasculares presentes, prácticamente 1 000 son endémicas (Aymard *et al.*, 2011).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



La mayor parte de los levantamientos florísticos e inventarios de fauna se han realizado en las cuencas de los ríos Caroní, Caura y Cuyuní. En el Caura, por ejemplo, se han reportado más de 2 900 especies de plantas vasculares (Aymard *et al.*, 2011), 205 especies de mamíferos (Ochoa *et al.*, 2009) y más de 500 especies de aves (Lasso *et al.*, 2010). Por otra parte, el Caroní posee entre 200 y 300 especies de peces, valor ligeramente mayor a la riqueza de peces descrita en la cuenca del Cuyuni (Lasso *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar de los estudios realizados por la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, la Fundación La Salle, la Fundación Williams H. Phelps, Wildlife Coservation Society, la Universidad Central de Venezuela, la Universidad de Los Andes, así como numerosas instituciones gubernamentales y no gubernamentales de Venezuela, se puede afirmar que aún se desconoce en buena medida la diversidad de especies de muchos grupos taxonómicos de la Biorregión Guayana. Lo que sí se sabe, es que la composición de especies en las diferentes unidades vegetales de la Biorregión es altamente variable, generando un alto grado de diversidad beta y por ende una extraordinaria diversidad gama (Berroterán, 2003; Díaz *et al.*, 2010; Lozada *et al.*, 2007; Lozada *et al.*, 2011; Díaz y Díaz, 2014; Fernández *et al.*, 2013; y, Hernández y Lozada, 2017).

Una de las zonas con mayor diversidad de la Biorregión Guayana corresponde a la Reserva Forestal Imataca. En esta Reserva Forestal se han efectuado numerosos levantamientos florísticos, lo que ha permitido adelantar diversos planes y programas de explotación maderera.

5.1.1. Vegetación

Los registros de precipitación y temperatura de la Reserva Forestal Imataca permiten reconocer cuatro unidades vegetales naturales, conocidas como Bosque Siempreverde de Tierras Bajas, Bosque Siempreverde Montano, Bosque Inundable de Pantano y Palmas y la unidad vegetal correspondientes a Manglar (Huber, 1988; Rodríguez, 1999 y Szeplaki *et al.*, 2001). Sin embargo, al recopilar la información generada en numerosos estudios de campo, Berroterán (2003) muestra la existencia de diez (10) unidades de vegetación, donde el Bosque Siempreverde Húmedo Tropical es la unidad dominante, cubriendo un 69% del área total de la Reserva, seguido del Bosque Siempreverde estacional (12%) y del Bosque de Pantano (15%). El resto de las unidades vegetales comprende el 4% del área total.

El Bosque Siempreverde Húmedo Tropical se distribuye en toda la zona central y sur, mientras que el Bosque Siempreverde Estacional se encuentra en la zona noroeste y el Bosque de Pantano ocupa la zona noreste de la Reserva. Los Manglares están confinados en la zona costera de la Reserva y el resto de unidades se encuentran marginadas a la zona norte del Bosque Siempreverde Estacional.

En la Zona norte de la Reserva, Díaz (2010) reporta tan solo 77 especies vegetales. En particular, en el Bosque Ribereño del Río San José existen 26 especies arbóreas cuyo de diámetro a nivel del pecho (DAP) es mayor o igual a 30 cm. En la zona central de la Reserva se encuentran por lo menos 149 especies vegetales entre árboles, arbustos, lianas, bejucos, hierbas y epifitas (Díaz y Díaz, 2014).

A partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación se ha determinado una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias (Díaz *et al.*, 2010; Lozada *et al.*, 2007; Lozada *et al.*, 2011; Díaz y Díaz, 2014; Fernández *et al.*, 2013; y Hernández y Lozada, 2017). El 40% de las especies presentes en la Reserva son árboles, sin duda la forma de vida dominante, mientras que existe un 16% de hierbas, un 10% arbustos, un 9% lianas, un 8% de helechos, un 6% de trepadoras. Las restantes formas de vida ocurren en el 12% de las especies de la Reserva (Tabla 13.1).

Tabla 13.1. *Formas de vida de las especies vegetales registradas en la RFI*

Forma de vida	Riqueza de especies	Porcentaje
Árbol	345	40,3
Hierba	133	15,5
Arbusto	87	10,2
Liana	73	8,5
Helecho	65	7,6
Trepador	49	5,7
Sufrútice	37	4,3
Epífita	27	3,2
Palma	27	3,2
Saprófita	7	0,8
Hemiepífita	4	0,5
Hemiparásita	2	0,2

Fuente: Díaz *et al.*, 2010 y Díaz y Díaz, 2014.

5.1.1.1. Clasificación de la vegetación de la RFI

Existen diversas metodologías para establecer la clasificación de las unidades vegetales en un paisaje y la taxonomía de estas depende de la escuela fisiográfica a la que pertenezca cada investigador. Por esta razón, una revisión bibliográfica permite encontrar diversos nombres para cada una de las unidades vegetales de una región.

En el caso de la Reserva Forestal Imataca, las unidades de vegetación se describen siguiendo la clasificación propuesta por Berroterán et al (2003). En el caso de las unidades de vegetación en los sistemas no intervenidos, o con un grado mínimo de intervención antrópica, los autores reconocen tres grandes tipos de vegetación, a saber, Bosque, Arbustal y Herbazal, los cuales vienen definidos por la forma de vida dominante. Un segundo nivel de clasificación, denominado Subtipo de Vegetación, subdivide al nivel categórico anterior según la fenología de la vegetación, reconociendo dentro del tipo Bosque, las subunidades: Bosque Húmedo Tropical, Bosque Siempreverde Estacional, Bosque Semisempreverde Estacional, Bosque Deciduo y Bosque de Pantano. La unidad Arbustal la conforma la subunidad de Manglar, mientras que la unidad



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Herbazal está compuesta por el Herbazal de Pantano, el Herbazal Montano y la Sabana bien drenada. Los autores establecen un tercer nivel de clasificación denominado "clases de vegetación", las cuales se diferencian por caracteres como altura del dosel y en algunos casos densidad de la cobertura y porcentaje de intervención.

A continuación, se describen las principales subunidades de vegetación de la Reserva Forestal Imataca.

Bosque siempreverde

En este tipo de bosque las especies se encuentran por debajo de los 700 msnm, y en él las arbóreas nunca se presentan desprovistas de hojas y durante la estación de sequía menos de 25% de los individuos pierden su follaje (Rodríguez, 2010). El estrato superior puede alcanzar los 30 metros de altura con especies emergentes que pueden alcanzar los 40 metros. Las especies arbóreas más comunes en este estrato pueden ser *Pentaclethra macroloba*, *Carapa guianensis*, *Alexa imperatricis*, *Eschweilera decolorans*, *E. grata*, *Protium decandrum*, *Mora excelsa*, *Couratari multiflora*, *Catostemma commune*, *Licania alba*, y *L. densiflora* (Lozada et al., 2007; Lozada et al., 2011, y Díaz y Díaz, 2014). En el sotobosque se presenta un segundo estrato que alcanza en promedio los 20 metros y un estrato inferior hasta los 15 metros. Cada estrato alberga una gran variedad de especies adaptadas específicamente a las condiciones particulares de cada estrato. De tal manera que este bosque ha sido referido como particularmente diverso (Szeplaki et al., 2001; Rodríguez, 2010).

Dentro de esta unidad se pueden diferenciar facies vegetales, que no son más que asociaciones de especies vegetales que permiten identificar la unidad vegetal, en las cuales las especies arbóreas comunes pueden estar asociadas a la presencia de otras especies tales como *Mora excelsa*, *Pentaclethra macroloba* o *Catostemma commune*, esto como resultado del relieve de penillanura medianamente ondulada con pequeños valles intercalados en las zonas más bajas (Lozada et al. 2011).

Siguiendo la clasificación de Berroterán (2003), el bosque siempreverde ocupa una superficie de 1 487 819 ha (Tabla 13.2), lo que representa el 39,0% de la Reserva y el 48,3% de los sistemas no intervenidos. Basado en la altura y el grado de intervención, Berroterán (2003) reconoce seis tipos de bosques siempreverde (Tabla 13.2).

Tabla 13.2. Superficie de las clases de vegetación de bosque húmedo tropical en la RFI

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Bajo	65 080	1,71
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Medio	265 668	6,97
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Alto	859 654	22,56
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Muy Alto	266 482	6,99
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Medio asociado a (30%) intervención	19 118	0,5
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical Muy Alto asociado a cursos de agua	11 816	0,31
Total	1 487 818	39,04

Fuente: Berroterán, 2003.

Bosque siempreverde estacional

Está conformado por aquellas comunidades arbóreas que presentan déficit hídrico de 1 a 3 meses del año, temperatura media anual mayor a 24 °C y altitud de 0-700 msnm, ocupando una superficie de 902 516 ha, lo que representa el 23,7% de la Reserva y el 29,3% de los sistemas no intervenidos. Berroterán (2003) reconoce tres clases de vegetación en el bosque siempre verde estacional (Tabla 13.3)

Tabla 13.3. Superficie de las clases de vegetación de bosque siempreverde estacional en la RFI

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Bosque Siempreverde Estacional Bajo	282 817	7,42
Bosque Siempreverde Estacional Medio	308 100	8,09
Bosque Siempreverde Estacional Alto	311 599	8,18
Total	902 516	23,69

Fuente: Berroterán, 2003.

Bosque semisempreverde estacional

Presentan déficit hídrico de 3 a 5 meses del año, una temperatura media anual mayor a 24°C y una altitud de 0-700 msnm. Ocupan una superficie de 110 546 ha, representando el 2,9% de la Reserva y 3,6% de los sistemas no intervenidos (Berroterán, 2003). Estos bosques se ubican principalmente en el extremo Noroeste de la Reserva y en las proximidades del Río Cuyuní. Presentan un patrón asociado a la transición entre los bosques siempreverde estacionales y los bosques deciduos.

Este bosque puede tener características del Bosque Semicaducifolio de Huber y Alarcon (1988), en el cual sus especies arbóreas dominantes pierden entre 25% y 75% del follaje durante la época de sequía (Rodríguez, 2010). En general, son bosques de altura media, con dosel entre 15 y 25 metros, el estrato medio va de 6 a 12 metros. Puede presentar dos o tres estratos arbóreos y con individuos que pueden alcanzar hasta 35 metros de altura, con abundancia de lianas y epífitas (Rodríguez, 2010). Berroterán (2003) reconoce dos clases de vegetación en el bosque siempre verde estacional (Tabla 13.4)

Tabla 13.4. Superficie de las clases de vegetación de bosque semisiempreverde estacional en la RFI

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Bosque Semisiempreverde Estacional Bajo	9 403	0,25
Bosque Semisiempreverde Estacional Alto	101 143	2,65
Total	110 546	2,9

Fuente: Berroterán, 2003.

Bosque deciduo estacional

Son comunidades arbóreas que presentan déficit hídrico de más de cinco meses al año una temperatura media anual mayor a 24 °C y una altitud de 0-700 msnm. Tiene altura variable de bajo a medio y ocupa 6 978 ha, lo cual representa el 0,18% de la RFI. Se localizan al Noroeste de la Reserva, y solo presentan una clase de vegetación, el Bosque Deciduo Estacional bajo-medio (Berroterán, 2003).

Bosque de pantano

También llamados bosques de palmas o inundable, son comunidades arbóreas asociadas a zonas mal drenadas y turberas, con abundantes palmas. Esta unidad de vegetación se localiza en planicies de 0 a 80 msnm sometidas a inundación periódica durante el año producto de una precipitación media mensual superior a 1 800 mm (Berroterán, 2003). Presentan una superficie de 470 274 ha (12,34% de la Reserva) y representan alrededor del 15% de los sistemas no intervenidos (Berroterán, 2003).

Se caracteriza por la presencia de especies siempreverdes. Se pueden diferenciar dos estratos el superior con especies de gran porte y altura (palmas y árboles) y el inferior es un estrato herbáceo con especies típicas tolerantes a suelos anegados (especies saprófitas y otras herbáceas). Existen escasos trabajos dentro de la Reserva sobre este tipo de vegetación (González, 2011); pese a que puede distinguirse por su composición florística y por las características del ambiente que ocupa, se requieren de conocimiento de campo específico para su caracterización. Estas comunidades pueden llegar a ser monoespecíficas, en cuyo caso se les da el nombre de la palma predominante, como chaguaramal o maporal (*Roystonea oleracea*) o morichal (*Mauritia flexuosa*), entre otros (Rodríguez, 2010). Berroterán (2003) reconoce cuatro clases de vegetación en el bosque de pantano (Tabla 13.5)

Tabla 13.5. Superficie de las clases de vegetación de bosque de pantano en la RFI

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Bosque de Pantano Siempreverde no estacional (no presenta déficit hídrico en ninguna época del año)	342 333	8,98
Bosque de Pantano Siempreverde asociado a áreas de Turberas	82 760	2,17
Bosque de Pantano Siempreverde estacional (presenta de 1 a 3 meses al año con déficit hídrico)	44 015	1,16
Bosque de Pantano Semisiempreverde Estacional (presentan de 3 a 6 meses al año con déficit hídrico)	1 166	0,03
Total	470 274	12,34

Fuente: Berroterán (2003)

Manglar

Los bosques de manglares son formaciones intermareales marinas y estuarinas, que pueden desarrollarse tanto a orillas del mar como en ambientes fluviales a decenas de kilómetros río arriba. Está integrado por comunidades arbóreas que habitan lugares salinos o salobres, situados en la zona de marea de la planicie deltaica de origen marino (Berroterán, 2003). Las especies que los conforman tienen la capacidad de vivir en ambientes salinos y salobres, con tolerancia a sumersiones periódicas y sobre suelos poco desarrollados (Conde y Alarcón, 1993; Conde y Carmona-Suárez, 2003, en Berroterán, 2003). Para el establecimiento y desarrollo de los manglares es necesario que se den diversas condiciones (Rodríguez, 2010). Los manglares dentro de la Reserva están restringidos a una franja en la zona de la costa, ocupan una superficie de 33 398 ha, lo cual representa el 0,88 de la Reserva y alrededor del 1% de los sistemas no intervenidos. Se localizan en el extremo Norte de la Reserva, principalmente hacia el Este. En este sector están generalmente asociadas a los Bosques de Pantano y en el sector Oeste regularmente se asocian a herbazales de pantano (Berroterán, 2003). En esta subunidad sólo se reconoce la clase de vegetación Manglar.

Arbustal

Corresponde a las subunidades de vegetación que se encuentran asociadas con bosques deciduos y sabanas bien drenadas. Ocupan una pequeña porción de 3 823 ha al norte de la Reserva, lo que corresponde a 0,1% de la superficie de la Reserva. Sólo se reconoce una clase de vegetación denominada Arbustal (Berroterán, 2003).

Herbazal de pantano

Son comunidades herbáceas localizadas en las planicies deltaicas de origen fluviomarino, con topografía plana y sometida a un régimen de inundaciones, y ocupa una superficie de 50 588 ha (1,33%) y representa aproximadamente el 2% de los sistemas no intervenidos (Berroterán, 2003). Los herbazales de pantano son divididos por la densidad del componente arbóreo en tres clases de vegetación (Tabla 13.6).

Tabla 13.6. *Superficie de las clases de vegetación de los herbazales de pantano en la RFI.*

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Herbazal de Pantano arbolado	44 136	1,16
Herbazal de Pantano no arbolado	5 820	0,15
Asociación Sabana-Herbazal	632	0,02
Total	681 956	1,33

Fuente: Berroterán, 2003.

Herbazal montano

Son comunidades dominadas por especies de tipo herbáceo, alternada aisladamente por la presencia de elementos arbustivos. Se encuentran por encima de los 600 m de altitud. La clase de vegetación conocida como Herbazal Tepuyano está asociada a suelos muy arenosos y extremadamente oligotróficos propios de la región tepuyana. Ocupa una superficie de 15 812 ha, lo que representa el 0,41% de la Reserva y una porción mínima de los sistemas no intervenidos. Por otra parte, en las zonas más bajas, la Asociación Sabana-Herbazal cubre un área de 15 ha, lo cual representa el 0,0004% de la superficie de la Reserva (Berroterán, 2003).

Sabana bien drenada

Está formada por un estrato continuo ecológicamente dominante de plantas herbáceas más o menos xeromórficas, en el cual las poáceas y ciperáceas son dominantes, con presencia o no de un estrato discontinuo de arbustos y/o árboles (Berroterán, 2003). Las clases de vegetación se reconocen por la cobertura del estrato leñoso. Las sabanas poco arboladas pueden alternarse eventualmente con individuos arbustivos o arbóreos. Las sabanas arboladas generalmente presentan más de un 10% de individuos leñosos y están asociadas principalmente al chaparro, *Curatella americana*. En la Tabla 13.7, se muestra la superficie ocupada por cada clase de vegetación.

Tabla 13.7. Superficie de las clases de vegetación de la sabana bien drenada en la RFI.

Clase de Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje en la RFI
Sabana poco arbolada	4 395	0,12
Sabana arbolada	3 192	0,08
Total	7 587	0,2

Fuente: Berroterán, 2003.

5.1.1.2. Unidades de vegetación de la RFI

El análisis de vegetación efectuado por Berroterán (2003) reconoce presencia de sesgos en la estimación de la superficie de las unidades y subunidades de vegetación producto de que las imágenes disponibles presentan un 11,3% de cobertura de nubes, sombra y vapor de agua. Sin embargo, ofrecen una buena aproximación a la vegetación de la Reserva Forestal Imataca. A partir de la clasificación de la vegetación efectuada por Berroterán (2003) se estima la superficie total de cada subunidad de vegetación (Tabla 13.8).

Tabla 13.8. *Unidades Vegetales de la Reserva Forestal Imataca. Clasificación tomada de Berroterán (2003). Datos generados por el equipo consultor (2019)*

Tipo de vegetación	Área (ha)	Porcentaje de la Reserva
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical	2 624 663	69
Bosque Siempreverde Estacional	441 172	11,6
Bosque Semisiempreverde Estacional	16 257	0,4
Bosque Deciduo Estacional	10 957	0,3
Bosque de Pantano	560 736	14,7
Manglar	80 782	2,1
Arbustal	3 823	0,1
Herbazal de Pantano	5 037	0,1
Herbazal Montano	28 861	0,8
Sabana bien drenada	10 032	0,3
Sin Vegetación	19 756	0,5
Total	3 802 076	100

El mapa de unidades de vegetación de la Reserva Forestal Imataca que se muestra a continuación fue tomado de Berroterán (2003) (Figura 13.1). El Bosque Húmedo Tropical (Bosque Ombrófilo) constituye uno de los biomas más biodiversos del planeta según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), lo cual le confiere a la Reserva un *estatus* de alta diversidad biológica.

En el mapa se puede observar que la cobertura vegetal de la Reserva Forestal Imataca (RFI) comprende cerca del 70% de Bosque Húmedo Tropical (Figura 13.1). Este tipo de bosque constituye uno de los biomas más biodiversos del planeta según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), lo cual le confiere a la Reserva un estatus de alta diversidad biológica. Esta biodiversidad, puede determinarse mediante el indicador más comúnmente empleado, como lo es el número de especies.

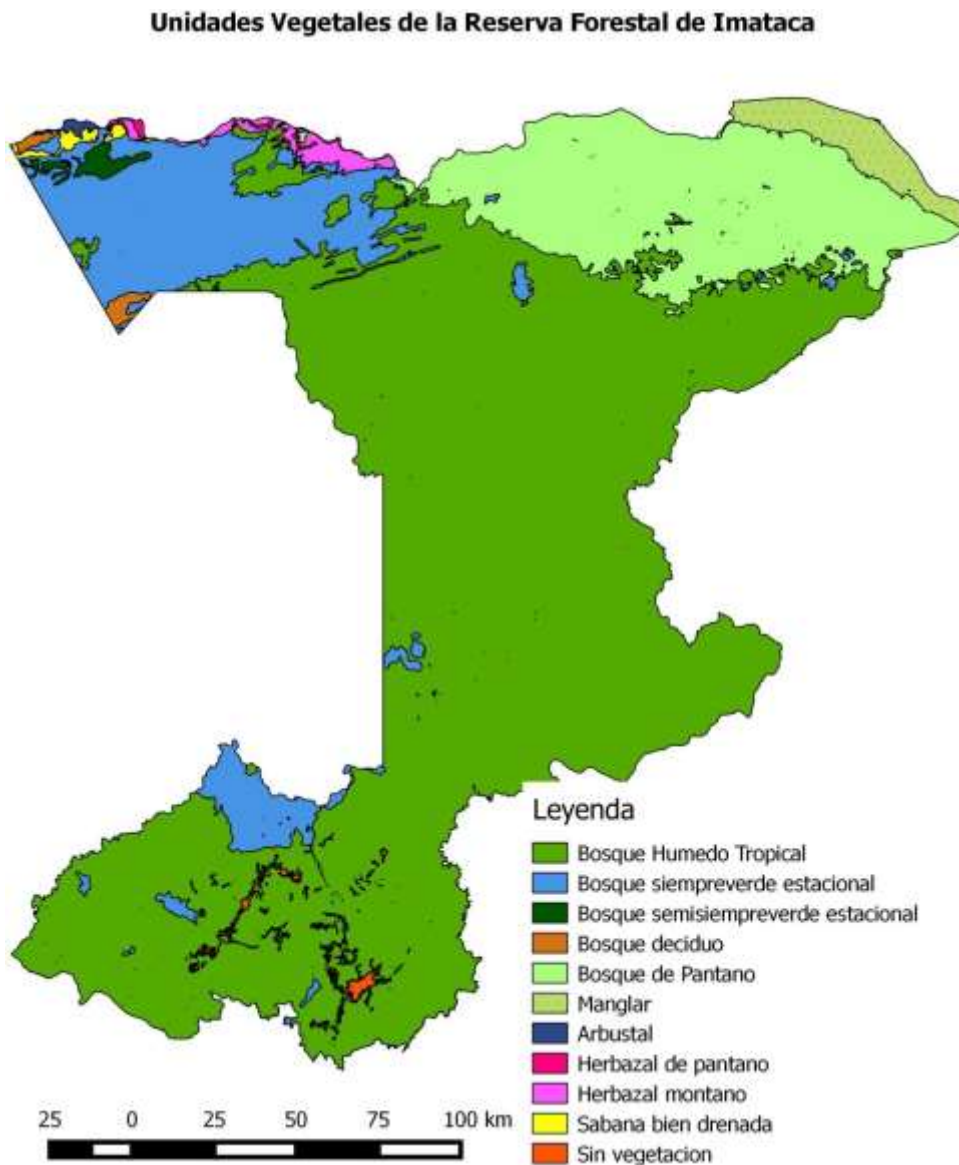


Figura 13.1. Unidades de Vegetación de la Reserva Forestal de Imataca.
Fuente: Berroterán (2003)

Dentro de cada una de las unidades de vegetación propuestas por Berroterán (2003), se pueden identificar un conjunto de macroecosistemas, que son unidades de clasificación de una jerarquía inferior a clases de vegetación, los cuales se caracterizan por presentar el mismo mesoclima, un paisaje geomorfológico o asociaciones específicas de tipos de relieve, mismo uso de la tierra, grandes grupos o subordenes de suelos, y en donde existe una apariencia de los tipos y subtipos de vegetación, que se puede relacionar a cada tipo de relieve y mesoclima (Berroterán 2003). El mapa de macroecosistemas de la RFI se muestra a continuación (Figura 13.2).

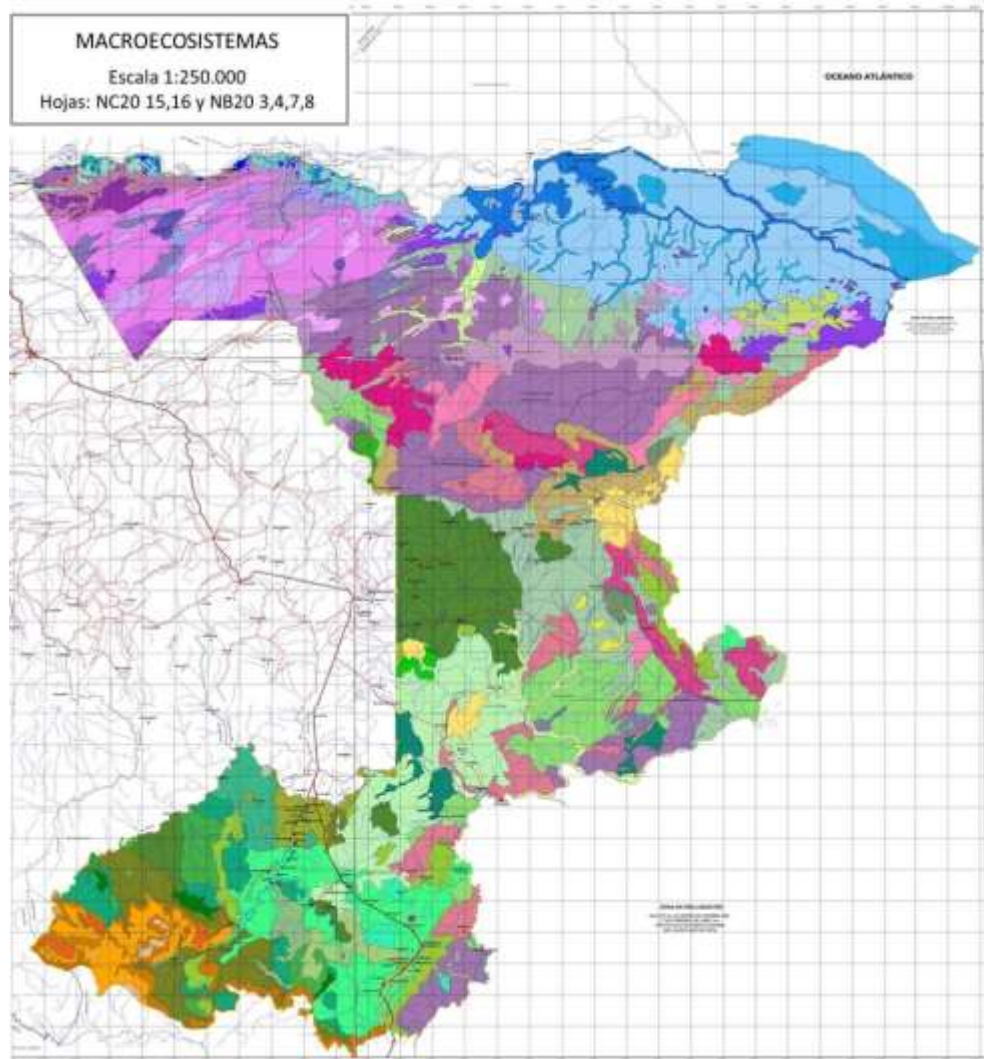


Figura 13.2. Macroecosistemas de la Reserva Forestal Imataca.
Fuente: Berroterán (2003)

Con el fin de describir la biodiversidad vegetal de la RFI se realizó una revisión de estudios con los listados recientes de vegetación, a partir del año 2007 (Lozada *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2010; Lozada *et al.*, 2011; Fernández *et al.*, 2013; Díaz y Díaz, 2014; Hernández y Lozada, 2017; y Lozada

et al., 2017). En ellos se mencionan 822 especies vegetales (Tabla 13.9), muchas de las cuales conforman registros adicionales al total (2 292) de especies reportadas para la Reserva (Berroterán, 2003). Sin embargo, estos listados provienen de muestreos puntuales, por lo que la biodiversidad vegetal de la Reserva es evidentemente mucho mayor a la actualmente conocida. Las localidades de muestreo de estos inventarios vegetales y la distribución de los macroecosistemas en los que fueron efectuados se muestran en la Figura 13.3.

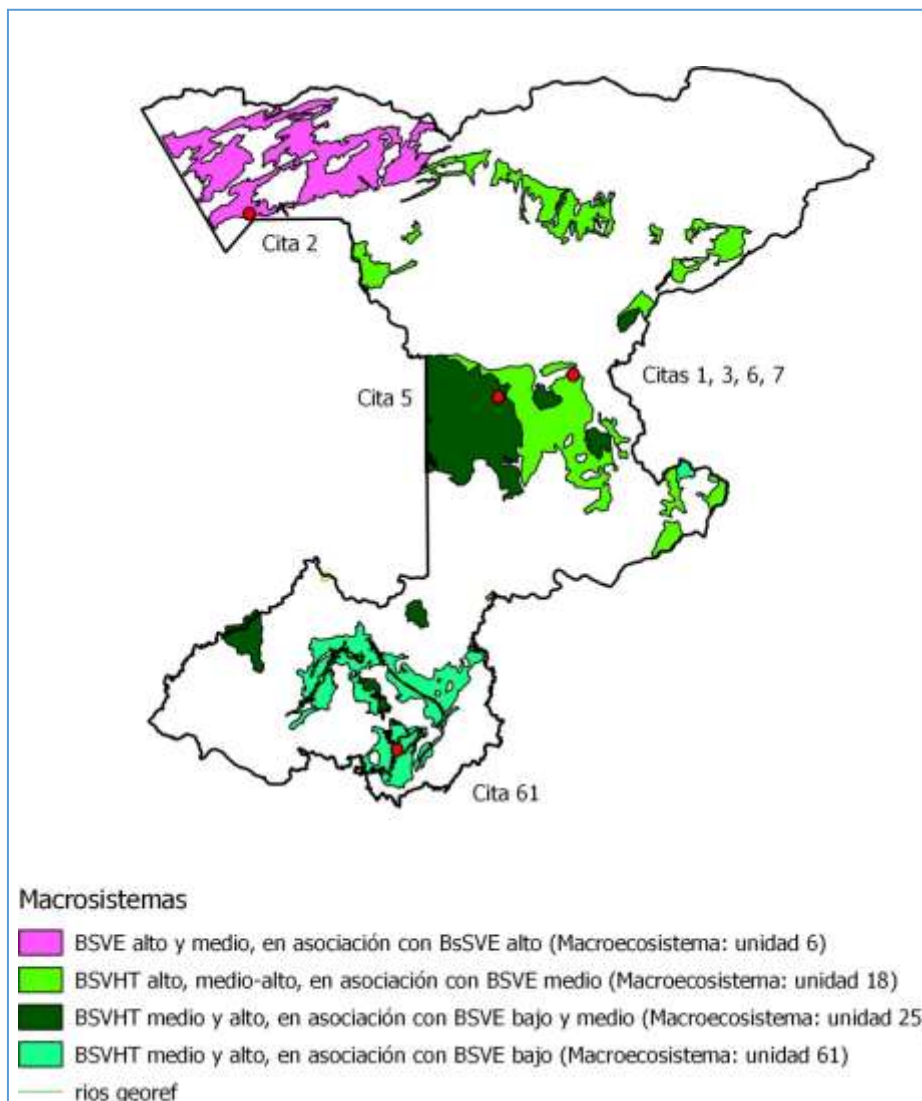


Figura 13.3. Localidades de muestreo de los inventarios vegetales en la RFI.

Cita 1: Bosque siempreverde húmedo tropical alto, medio-alto, en asociación con Bosque Siempreverde estacional medio (Macroecosistema: unidad 18) (Lozada *et al.*, 2007).

Cita 2: Bosque siempreverde estacional alto y medio, en asociación con Bosque semisempreverde estacional alto (Macroecosistema: unidad 6) (Díaz *et al.*, 2010).

- Cita 3: Bosque siempreverde húmedo tropical alto, medio-alto, en asociación con Bosque siempreverde estacional medio (Macroecosistema: unidad 18) (Lozada *et al.*, 2011).
- Cita 4: Bosque siempreverde húmedo tropical medio y alto, en asociación con Bosque siempreverde estacional bajo (Macroecosistema: unidad 61) (Fernández *et al.*, 2013).
- Cita 5: Bosque siempreverde húmedo tropical medio y alto, en asociación con Bosque siempreverde estacional bajo y medio (Macroecosistema: unidad 25) (Díaz y Díaz, 2014).
- Cita 6: Bosque siempreverde húmedo tropical alto, medio-alto, en asociación con Bosque Siempreverde estacional medio (Macroecosistema: unidad 18) (Hernández y Lozada, 2017).
- Cita 7: Bosque siempreverde húmedo tropical alto, medio-alto, en asociación con Bosque Siempreverde estacional medio (Macroecosistema: unidad 18) (Lozada *et al.*, 2017).

Como se puede observar en el mapa de la Figura 3, existe un gran vacío de información, a nivel de especies, disponible para la Reserva, lo cual impide la elaborar un mapa completo de distribución de las especies vegetales. Los inventarios de especies son útiles, pero al estar incompletos, no bastan para precisar la amplitud y la distribución de todos los componentes de la biodiversidad. Debido a que el concepto de biodiversidad, va más allá que determinar el número total de especies (riqueza de especies), los estudios actuales se basan en la evaluación de otros parámetros de la biodiversidad que también permiten definirla para un área determinada. Estos parámetros involucran la diversidad genética (dentro de las especies), la diversidad estructural (entre especies) y la diversidad funcional (entre ecosistemas). La evaluación de estos parámetros, puede realizarse mediante la medición de indicadores específicos tales como, el cálculo de las áreas intervenidas frente a las áreas no intervenidas (fragmentación del ecosistema), la detección de una especie particular (especies indicadoras), la integración de atributos biológicos de una comunidad fácil de evaluar, el estado de salud de individuos de un grupo taxonómico. Estos indicadores se proponen como eficientes para la evaluación de la biodiversidad de la RFI.

5.1.1.3. Lista de especies reportadas para la RFI

La revisión bibliográfica llevada cabo permitió actualizar la lista de especies vegetales registradas para la Reserva Forestal Imataca hasta este momento. Como puede verse en la Tabla 13.9, existen numerosas especies determinadas hasta género y es probable que muchas de ellas sean nuevas para la ciencia (Tabla 13.9; anexo 13.1).

Tabla 13.9. *Lista de especies vegetales reportadas para la RFI en estudios realizados a partir del año 2007.*

Familia	Referencia	Familia	Referencia
Acanthaceae	1,3,4	Davalliaceae	4
Amaranthaceae	4	Dennstaedtiaceae	1,3,4,5
Anacardiaceae	1,2,3,4,5	Dichapetalaceae	3,4,6
Annonaceae	1,2,3,4,5	Dilleniaceae	1,2,4,5,6
Apocynaceae	1,2,3,4,5,6	Dioscoreaceae	4
Aquifoliaceae	4	Dryopteridaceae	1,3,4
Araceae	1,2,3,4,5,6	Ebenaceae	4

Familia	Referencia
Araliaceae	1,4
Arecaceae	1,2,3,4,5,6,7
Aspleniaceae	4,5
Asteraceae	4
Balanophoraceae	4
Bignoniaceae	1,2,3,4,5,6,7
Bixaceae	1,3
Blechnaceae	4
Bombacaceae	1,2,3,4,5,7
Boraginaceae	1,2,3,4,5
Bromeliaceae	4
Burmanniaceae	4
Burseraceae	1,2,3,4,5,7
Caesalpiniaceae	1,2,3,4,5,6,7
Campanulaceae	4
Cannabaceae	6
Capparaceae	2
Caryocaraceae	4
Cecropiaceae	1,3,4
Celastraceae	3,4,5,6
Chrysobalanaceae	1,2,3,4,5
Clusiaceae	1,2,3,4,5,6
Combretaceae	1,2,4,5,7
Commelinaceae	4
Connaraceae	1,3,5,6
Convolvulaceae	1,3,4,5,6
Costaceae	1,3,4,5
Cyatheaceae	4
Cyclanthaceae	1,4,6
Cyperaceae	4,5
Marantaceae	1,2,3,4,5

Familia	Referencia
Elaeocarpaceae	2,4
Ericaceae	2
Erythroxylaceae	4
Euphorbiaceae	1,2,3,4,5
Fabaceae	1,2,3,4,5,6,7
Gentianaceae	4,5
Gesneriaceae	4
Gleicheniaceae	4
Gnetaceae	4
Grammitidaceae	2,4,5
Haemodoraceae	4
Heliconiaceae	1,3,4,5
Hernandiaceae	1
Hippocrateaceae	1,4,5
Hugoniaceae	4
Humiriaceae	4
Hymenophyllaceae	3,4
Icacinaceae	1
Iridaceae	1,3
Lamiaceae	4
Lauraceae	1,3,4,5
Lecythidaceae	1,2,3,4,5,7
Lentibulariaceae	4
Lentiburaleaceae	5
Loganiaceae	4,5
Loranthaceae	4
Lycopodiaceae	4
Lythraceae	5
Malpighiaceae	1,4,6
Malvaceae	3
Salicaceae	4

Familia	Referencia	Familia	Referencia
Marattiaceae	1	Sapindaceae	1,2,3,4,5,6
Marcgraviaceae	4,5,6	Sapotaceae	1,2,3,4,5
Melastomataceae	1,2,3,4,5,7	Schizaeaceae	4
Meliaceae	1,2,3,4,5	Schlegeliaceae	4
Memecylaceae	1,3,4,6	Selaginellaceae	1,5
Mendonciaceae	5	Simaroubaceae	1,3,4,5,6
Menispermaceae	1,6	Siparunaceae	4
Metaxyaceae	1	Smilacaceae	2,4
Mimosaceae	1,2,3,4,5,6,7	Solanaceae	1,2,3,4,5,7
Monimiaceae	1,2	Sterculiaceae	2,3,4,5
Moraceae	1,3,4,5	Theaceae	3
Myristicaceae	1,2,3,4,5	Thelypteridaceae	1,5
Myrsinaceae	2	Theophrastaceae	1,2,3,4
Myrtaceae	1,2,3,4	Thurniaceae	5
Nyctaginaceae	4,5	Tiliaceae	4
Ochnaceae	2,4	Triuridaceae	5
Onagraceae	2,4	Ulmaceae	4
Orchidaceae	3,4,5,6	Verbenaceae	1,2,3,4,5,6,7
Passifloraceae	4,5	Violaceae	1,2,3,4,5,6,7
Phytolaccaceae	4	Vitaceae	2,4,5
Picramniaceae	4	Vochysiaceae	1,4,5
Piperaceae	1,2,3,4,6	Zyngiberaceae	
Poaceae	1,2,4,6	Rapataceae	1,3,4,5,6
Polygalaceae	1,2,3	Rhamnaceae	1
Polygonaceae	1,3,4,5,6	Rhizophoraceae	4
Polypodiaceae	1,2,3,4,5	Rubiaceae	1,2,3,4,5,6,7
Pteridaceae	2,4,5	Rutaceae	1,2,3,4
Quiinaceae	4		

Fuentes: 1: Lozada *et al.* 2007; 2: Díaz *et al.*, 2010; 3: Lozada *et al.*, 2011; 4: Fernández *et al.*, 2013; 5: Díaz y Díaz, 2014; 6: Hernández y Lozada, 2017; 7: Lozada *et al.*, 2017.

5.1.1.4 Estado actual de la vegetación de la RFI

La evaluación del estado de conservación de la vegetación de la RFI se realizó mediante la determinación del Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) (Chuvieco 2006, Meneses-Tovar 2011). Este índice permite identificar el verdor de la vegetación mediante imágenes de satélite. Se emplearon 9 imágenes del satélite del programa *Copernicus* de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) de los años 2017-18 (ESA 2019). Los valores del NDVI van desde -1 a +1, los valores inferiores a 0,2 se corresponden con los cuerpos de agua y suelo desnudo, mientras que los valores más altos se corresponden con herbazales y bosques. El valor promedio del índice para cada una de las unidades vegetales puede ser empleado como un indicador (o métrica) de la salud de la vegetación. El cálculo del NDVI se realizó en el programa QGIS ver. 2.2, empleando las bandas 4 (rojo) y 8 (infra rojo cercano), a las cuales se les aplicó una máscara de nubes para reducir el ruido. Los valores del índice NDVI inferiores a 0,2 corresponden a los cuerpos de agua; entre 0,2 y 0,4 corresponden a suelo desnudo y cobertura vegetal menor al 25%; entre 0,4 y 0,6 corresponden a herbazales y cobertura vegetal entre 25 y 75%; por último, los valores mayores a 0,6 corresponden con la vegetación de bosque y cobertura de la vegetación mayor al 75%.

El cálculo del índice se realizó solamente para para cinco de las 10 unidades vegetales debido a la ausencia de información geoespacial para las cinco restantes unidades vegetales.

El porcentaje de vegetación sana para cada unidad evaluada, así como para toda la Reserva, fue corregido con un porcentaje promedio de nubes (20%) de todas las imágenes de satélite (Figuras 13.4 a la 13.9).



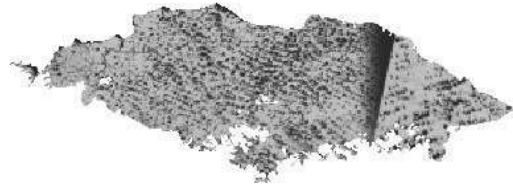
Mosaico de imágenes para toda la RFI



Bosque Siempreverde Húmedo Tropical



Bosque Siempreverde Estacional



Bosque de Pantano

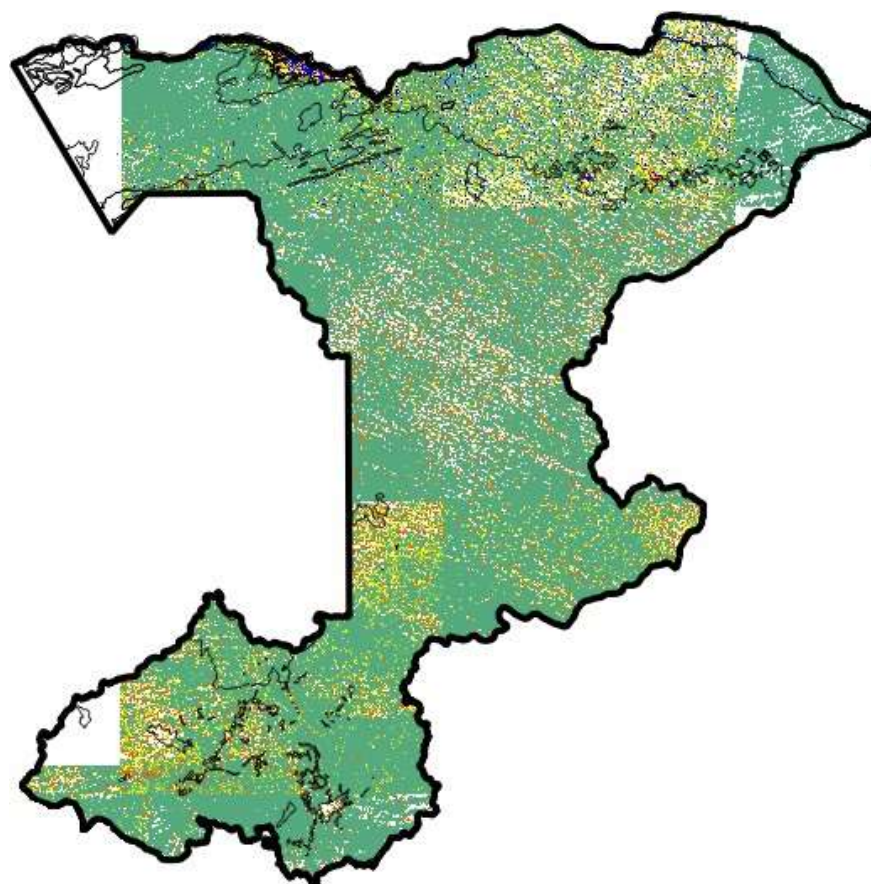


Manglar



Herbazal Montano

Figura 13.4. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la RFI.



Leyenda

	Cuerpos de agua
	Suelo desnudo y/o cobertura vegetal menor al 25%
	Herbazales y/o cobertura vegetal entre 25 y 75%
	Bosque y cobertura de la vegetación mayor al 75%
	Sin información

Figura 13.5. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la RFI, clasificado.

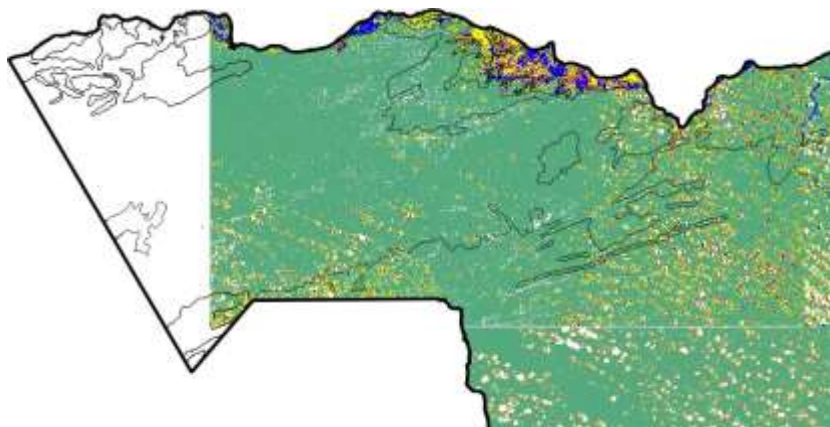


Figura 13.6. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Noroeste (RFI).

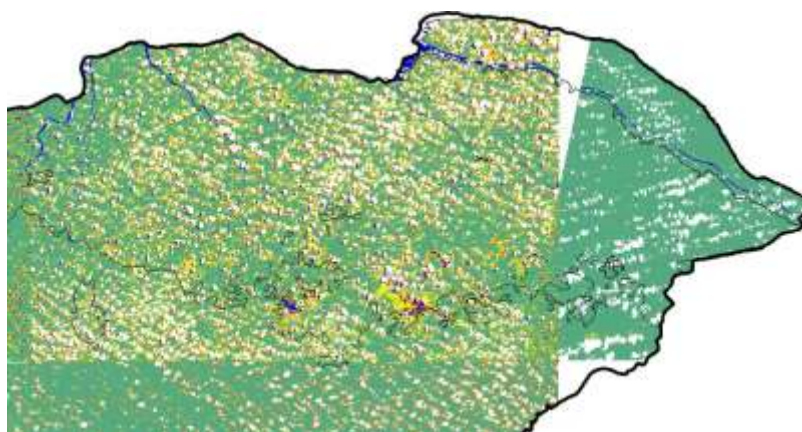


Figura 13.7. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Noreste (RFI).

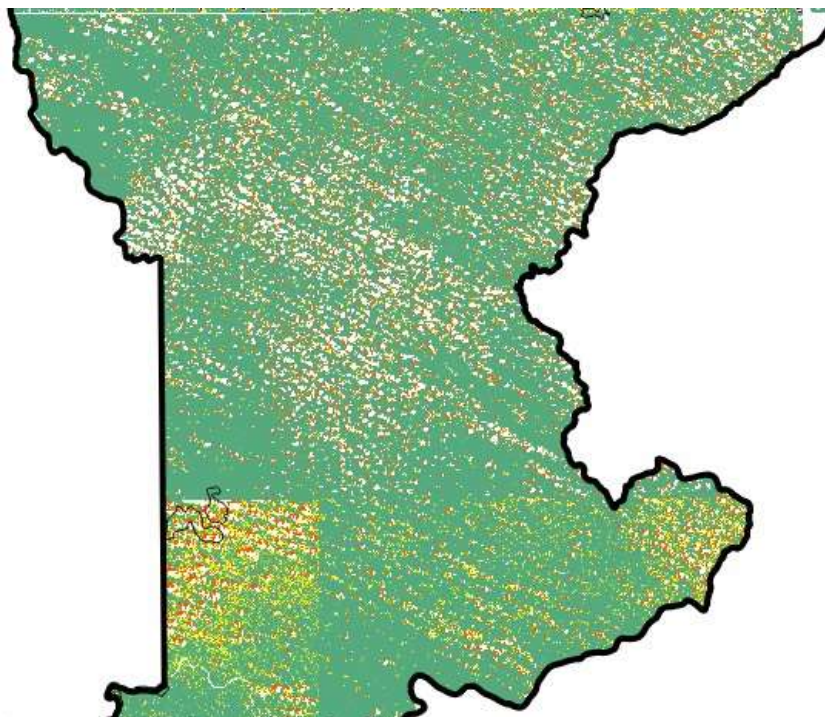


Figura 13.8. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Central (RFI).

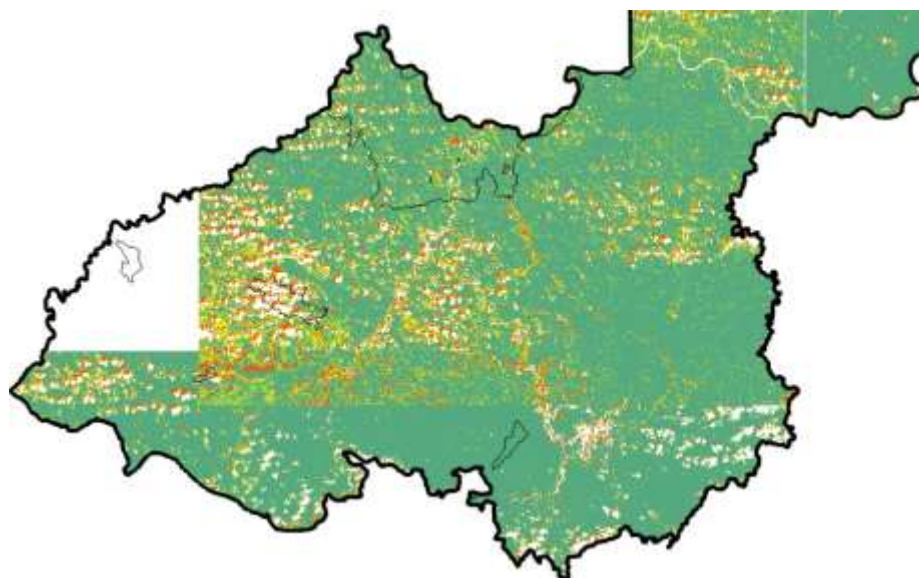


Figura 13.9. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) para la Zona Sur (RFI).

Tabla 13.10. *Coefficiente de frecuencia del NDVI por clase de valores y NDVI para cada una de las unidades de vegetación en la Reserva Forestal Imataca.*

Unidad Vegetal	Coeficiente de frecuencia del NDVI por clase de valores				NDVI promedio (D.S)	Vegetación sana (%)
	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	>0,6		
Bosque Siempreverde Húmedo Tropical	0	0,01	0,09	0,9	0,65 (0,23)	71
Bosque Siempreverde Estacional	0	0,03	0,06	0,91	0,68 (0,19)	67
Bosque de Pantano	0	0,03	0,16	0,81	0,54 (0,29)	90
Manglar	0,04	0,01	0,09	0,86	0,48 (0,33)	73
Herbazal Montano	0,44	0,56	0	0	0,33 (0,28)	77
Reserva Forestal Imataca	0,02	0,03	0,1	0,85	0,63 (0,24)	76

Los valores promedio del NDVI superiores a 0,6 en las unidades de Bosque siempreverde húmedo y estacional, indican la presencia de una cobertura vegetal densa y con buena turgencia (buen estado hídrico). Los valores del NDVI promedio resultantes para el Bosque de pantano (0,54) y el Manglar (0,48), expresan una cobertura vegetal media (25% y 75%) y un alto grado de conservación, pues los valores están sobre 0,4, el cual es alto para estas coberturas. El Herbazal montano presenta un valor del índice de 0,32, que refleja la presencia de una cobertura vegetal rala (<25%), y en este caso particular en presencia de un cuerpo de agua o humedal. El NDVI promedio para el área total de la RFI supera el valor de 0,6 para los años 2017-18, lo cual es un reflejo del alto estado de conservación que presenta la Reserva al momento de esta evaluación. Asimismo, los altos valores del índice promedio (>0,6 y >0,4, según el tipo de cobertura) resultantes para cada una de las unidades de vegetación, reflejan un alto grado de conservación (Tabla 13.10). El área de mayor afectación en la RFI, en cuanto a pérdida de la cobertura de bosque natural, es la Zona Sur en la cual parece estar concentrada la actividad minera. Cerca del 80% de la vegetación de bosque natural de la RFI se encuentra en buen estado ecológico según este análisis de teledetección.

A pesar del buen estado de la vegetación que refleja el NDVI, un análisis en el tiempo sobre el área más afectada por la minería, la zona sur, muestra como la tasa de deforestación se ha incrementado exponencialmente a partir del año 2010. Este análisis se realizó con la función "línea de tiempo" del sistema de información geográfica (SIG) Google Earth, la cual permite la visualización de imágenes del pasado hasta la fecha actual para la misma localidad. Este análisis muestra que, de continuar la actividad minera a la misma tasa, el área deforestada se habrá duplicado para el año 2030.

5.1.1.5. Análisis de amenazas a la vegetación en la RFI

Los siguientes factores fueron evaluados como las principales amenazas a la Biodiversidad dentro de la RFI: los centros poblados, las vías de acceso terrestre y fluvial, y las áreas de concesiones forestales y mineras.

Para cada uno de estos factores se determinó el área de afectación según los siguientes criterios:

- Para los centros poblados se tomó en cuenta el desplazamiento desde los hacia los bosques naturales, se manejó como criterio un área de afectación de 5 Km de radio a partir de cada asentamiento humano.
- Para las vías de acceso terrestre y fluvial, se consideró que el acceso hacia los bosques desde cualquier punto de cada una de las vías es perpendicular al mismo, para este caso se empleó un margen de afectación de 2,5 Km a cada lado de cada una de las principales vías.
- Para las áreas de concesiones se utilizó un contorno de 3 Km adicional al área de las parcelas ya establecidas legalmente.

Este análisis de se realizó con el SIG QGIS (ver. 2.2), mediante la función *buffer* para cada capa temática, y luego se realizó el solapamiento de estas en los casos que fue necesario. Finalmente, se obtuvo las áreas potenciales de afectación para las diferentes amenazas evaluadas. Figuras 13.10 a 13.12 y Tabla 13.11.



Figura 13.10. Área de afectación potencial para centros poblados, vía terrestres y vías fluviales.



Figura 13.11. Área de afectación potencial para las concesiones forestales.



Figura 13.12. Área de afectación potencial para las concesiones mineras.

Tabla 13.11. Áreas potencialmente amenazadas en la RFI.

Amenaza	Área afectada (ha)	Área afectada (%)
Centros poblados	666 668	17,53
Vías terrestres	259 030	6,81
Vías fluviales	2 471 693	65,01
Actividad Minera	1 704 735	44,84
Actividad Forestal	1 929 370	50,75
Centros poblados y vías juntos	2 686 579	70,66

La principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera ya que la afectación por vía fluvial depende en gran medida de esta actividad. El mal manejo forestal es la segunda amenaza importante, pues al no reponer las especies maderables dejan expuestas áreas de cobertura rala. Es fundamental hacer un buen manejo de la RFI debido a que la potencialidad de las amenazas afectará, en el futuro, entre el 40% y 70% del área con alta biodiversidad vegetal y faunística que existe aún en la Reserva.

5.1.1.6. Especies vegetales amenazadas en la RFI

Una pequeña pero significativa fracción de las especies vegetales de la Reserva Forestal Imataca se encuentra con algún grado de amenaza, bajo los criterios contemplados en el Libro Rojo de la Flora Venezolana (Llamozas *et al.*, 2003). En dicha publicación se describe el grado de amenaza de 13 especies vegetales que forman parte de la flora de la Reserva (Tabla 13.12).

Tabla 13.12. Especies vegetales amenazadas en la Reserva Forestal Imataca.

Familia	Especie	Forma de Vida	Grado de amenaza
Arecaceae	<i>Euterpe oleracea</i>	Palma	VULNERABLE VU A2cd
	<i>Euterpe precatoria</i>	Palma	VULNERABLE VU A2cd
	<i>Sabal mauritiiformis</i>	Palma	VULNERABLE VU A2cd
Bromeliaceae	<i>Guzmania lingulata</i>	Hierba	VULNERABLE VU A2cd
Caesalpiniaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Árbol	VULNERABLE VU A1cd+2cd
Caryocaraceae	<i>Caryocar nuciferum</i>	Árbol	VULNERABLE VU A1c+2c
Fabaceae	<i>Alexa imperatricis</i>	Árbol	VULNERABLE VU A2cd, B1+2c
Heliconiaceae	<i>Heliconia bihai</i>	Hierba	CRITICO CR D1
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>	Árbol	VULNERABLE VU A1cd
	<i>Cedrela odorata</i>	Árbol	VULNERABLE VU A1cd
Mimosaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Árbol	VULNERABLE VU A2d
Myristicaceae	<i>Virola surinamensis</i>	Árbol	VULNERABLE VU A2cd
Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Árbol	VULNERABLE VU A1cd+2cd

Fuente: Llamozas *et al.*, 2003.

5.1.1.7. Plantas medicinales de la RFI

La mayor parte de los estudios sobre la flora y vegetación de la Reserva Forestal Imataca se centran en el aprovechamiento forestal de la misma, dejando de lado los estudios etnobotánicos, los cuales son escasos. En tal sentido, se pueden mencionar los trabajos de Díaz (2005), quien desarrolló un inventario preliminar de plantas útiles de bosques remanentes en la Serranía de Imataca, también los trabajos de Figueroa (2006) y Figueroa y Castilla (2006), que efectúan la valoración de árboles con uso medicinal en la cuenca alta del Río Botanamo y el artículo de Guanire *et al.* (2010), quienes estudiaron la etnobotánica medicinal de los indígenas Warao en el delta del Orinoco.

Sobre la base de estos estudios se elaboró la lista de plantas medicinales presentes en la Reserva Forestal Imataca, que dista mucho de ser exhaustiva, pues aún hoy se trabaja sobre nuevas especies para la ciencia (Tabla 13.13).

Tabla 13.13. Lista de plantas medicinales presentes en la Reserva Forestal Imataca.

Familia	Especies	Usos más comunes	Referencia
Acanthaceae	<i>Barleria lupulina</i>		3
	<i>Mangifera indica</i>	Desinflamatorio	1
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Cicatrizante	1
	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Antidiarreico, diabetes	1
	<i>Annona muricata</i> L.	Tensión, relajante, mareos	1
	<i>Annona squamosa</i>		3
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> (Lamp.) Mart.	Diarrea, vómito	1
	<i>Anaxagorea</i> sp.	Sabañón, heridas, cicatrizante	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.	Paludismo, riñones	1
	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq)	Reconstituyente, purifica la sangre, depurativo	1
Arecaceae	<i>Lodd. Ex Martinus</i>		
	<i>Cocos nucifera</i> L.	Riñones	1,3
Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp.	Alivia la tos	2
	<i>Crescentia cujete</i> L.	Próstata, tensión	1
	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl)	Reconstituyente, depurativo, riñones	1
Bignoniaceae	<i>G. Nicholson</i> Puy		
	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson.	Dolor de cintura	1
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	Paludismo, riñones, hígado, reumatismo	1

Familia	Especies	Usos más comunes	Referencia
Bombacaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.)	Menstruación, vejiga	1
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	Afrodisíaco, antiséptico, antidiarreico, reumatismo	1,2,3
Burseraceae	<i>Protium</i> sp. 1	Antiflatulento, asma, riñones, gripe, refrescante, depurativo	1
	<i>Protium</i> sp. 2	Diabetes, heridas, cicatrizante	1
	<i>Bauhinia cumanensis</i>		3
	<i>Bauhinia guianensis</i> Aubl.		2
	<i>Bauhinia unguolata</i> L.	Bajar de peso	2
	<i>Bauhinia</i> sp.	Diabetes	1
	<i>Brownea coccinea</i> Jacq.	Detener hemorragia	2
	<i>Brownea</i> sp.	Derrame en mujeres, caída del pelo	1
Caesalpiniaceae	<i>Cassia moschata</i> Kunth	Diarreas, hongos	1,2,3
	<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd.	Cicatrizante, lavado vaginal, garganta	1
	<i>Cedrelinga catanifolia</i> (Ducke) Ducke		1
	<i>Copaifera officinalis</i> L	Cicatrizante	1
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Catarata, hongos	1
	<i>Tamarindus indica</i> L.	Purgante	1
	<i>Cecropia peltata</i>	Gripe, tensión, riñones, purgante	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia</i> sp.	Tratamiento del asma	2
Combretaceae	<i>Combretum frangulifolium</i>	Antimicótico	2
Chrysobalanacea	<i>Licania pyrifolia</i> Griseb		1
Costaceae	<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav	Combatir problemas urinarios	2
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i>	Diarrea, úlcera, diabetes	1
	<i>Cnidoscolus chayamansa</i> Mc Vaught	Cáncer	1
Euphorbiaceae	<i>Hura crepitans</i> L.	Anestésico	2

Familia	Especies	Usos más comunes	Referencia
	<i>Piranhea longepedunculata</i> Jabl.	Heridas, cicatrizante	1
	<i>Coumarouna punctata</i> S.F. Blake	Vómitos, dolor de estómago	1
	<i>Gliricidia sepium</i>	Sabañón	1
Fabaceae	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand.	Dolor de cabeza, golpes	1
	<i>Platymiscium cf. trinitatis</i>	Aliviar el dolor	2
	<i>Pterocarpus cf. acapulcensis</i>	Aliviar el dolor	2
	* <i>Pterocarpus/ Cr gossypifolius</i>	Cadillo	1
	<i>Tepbrosia toxicaria</i>		
Flacourtiaceae	<i>Casearia spinescens</i> (Sw.) Benth.		1
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill	Nervios, caída del pelo, Desinflamatorio	1
Lecythidaceae	<i>Couratari multiflora</i>	Diarrea, dolor de estómago	1
Loganiaceae	<i>Strychnos fendleri</i> <i>Sprague & Sandwith</i>	Tétano	1
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Artritis	1,3
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K	Heridas, cicatrizante	1
	<i>Azadiracht indica</i> A.Juss.	Reumatismo	1
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl	Fiebre, paludismo, asma, dolor de estomago	1,3
	<i>Cedrela odorata</i>	Gonorrea, nervios, riñones, reumatismo	1
	<i>Trichilia pallida</i> Sw.		1
	<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl.	Hemorragia	1
Mimosaceae	<i>Chloroleucon acaciodes</i> (Jacq.) Britton & Rose	Paludismo	1
	<i>Samanea</i> sp.	Dolores reumáticos	1
Moraceae	<i>Artocarpus</i> sp.	Fracturas	1
Myrtaceae	<i>Eugenia Pumarosa</i>	Heridas	1

Familia	Especies	Usos más comunes	Referencia
	<i>Psidium guajava L.</i>	Diarrea	1
	<i>Syzygium alcásense</i>	Hemoglobina	1
Onagraceae	<i>Ludwigia octovais</i>		3
Orchidaceae	<i>Trichocentrum cebolleta</i>	Otitis	2
Papilionaceae	<i>Erythrina fusca</i>		3
	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Amígdalas	2
Piperaceae	<i>Piper cf. ovatum Vahl</i>	Desinfectante	2
Polypodiaceae	<i>Polypodium aureum</i>		3
Pontederiaceae	<i>Eichornia azurea</i>		3
Proteaceae	<i>Roupala montana Aubl.</i>	Vista, diarrea	2
Rutaceae	<i>Angostura trifoliata (Willd.) Elias</i>	Paludismo	1
	<i>Zanthoxylum caribaeum Lam.</i>	Artritis, dolor de estómago	1
Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata (A.DC.) Chev.</i>	Úlcera, diarrea	1
Scrophulariaceae	<i>Capraria biflora</i>		3
Solanaceae	<i>Capsicum frutescens</i>		3
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia Lam</i>	Riñones, diarrea	1
Verbenaceae	<i>Lantana camara L.</i>	Febrifugo	2

Fuentes: 1: Figueroa, 2006; 2: Díaz, 2007; Guanire *et al.*, 2010.

5.1.2 Fauna

La fauna de la Reserva Forestal Imataca se encuentra compuesta principalmente por elementos propios de las Bioregiones Guayana, Deltaica del Río Orinoco y de la Costera Continental (UCV 2000; MARN, 2001) lo que le confiere una extraordinaria biodiversidad (Aguilera *et al.*, 2003). Sin embargo, hay poca información publicada sobre la fauna de la Reserva, a excepción de algunos inventarios preliminares (Ochoa, 1995 y Giraldo *et al.*, 2006), nuevos registros y ampliaciones de distribución de vertebrados (Duellman, 1997; Gorzula y Señaris, 1999 y Señaris *et al.*, 2009), estudios de acumulación de metales pesados en la fauna acuática (Nico y Taphorn, 1994 y Farina *et al.*, 2008), impactos de la extracción de madera (Mason, 1996 y Ochoa, 2000) y la Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní (Lasso *et al.*, 2009).

Poco se sabe de las comunidades de invertebrados de la Reserva Forestal Imataca, a excepción de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del Cuyuní.

5.1.2.1. Macroinvertebrados acuáticos

Al objeto de estudiar los patrones de distribución y riqueza de especies de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el Sistema Esequibo, se procedió a efectuar un estudio ecológico rápido en enero de 2008 (Mora-Day *et al.*, 2008). Para ello, se establecieron cinco localidades de colecta de macroinvertebrados acuáticos, a saber: cuenca baja, media y alta del río Uey, y Río Cuyuní antes y después de la confluencia con el Uey. Las colectas fueron realizadas durante 13 días de enero con redes, salabardos y manualmente, considerando la heterogeneidad de hábitats.

En los muestreos efectuados por Mora-Day *et al.* (2008), se colectaron 778 individuos, pertenecientes a 3 Phylum, 14 Órdenes, 30 Familias y 82 especies, de anélidos, moluscos y artrópodos. El orden decreciente de los grupos en cuanto a riqueza de especies y abundancia fue: *Insecta*, *Crustacea*, *Mollusca* y *Annelida*. Los órdenes con mayor riqueza de especies fueron *Odonata* (30 spp.), *Coleoptera* (9 spp.), *Hemiptera* (7 spp.), *Decapoda* (7 spp.) y *Ephemeroptera* (6 spp.). Estos dominaron también en términos de abundancia, con valores que van desde 35 (*Hemiptera*) hasta 348 individuos (*Decapoda*). Adicionalmente, se recolectaron especies de *Trichoptera* (5 spp.), *Diptera* (4 spp.), *Plecoptera* (3 spp.), *Megaloptera* (1 spp.), *Isopoda* (4 spp.), *Gastropoda* (4 spp.), *Bivalvia* (1 spp.) y un *Annelida* (Tabla 13.14).

Tabla 13.14. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la cuenta de Cuyuní.

Phylum	Subphylum	Clase	Orden	Familia	Especie
ANNELIDA					<i>Annelida sp.</i>
MOLLUSCA		<i>Bivalvia</i>	<i>Veneroidea</i>	<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium sp.</i>
		<i>Gastrópoda</i>	<i>Monotocardia</i>		<i>Gastropoda sp.</i>
					<i>Doryssa cf. gracilis</i>
					<i>Pomacea glauca</i>
					<i>Pomacea sp.</i>
ARTROPODA	CRUSTACEA	<i>Malacostraca</i>	<i>Decapoda</i>	<i>Palaemonidae</i>	<i>Macrobrachium brasiliense</i>
					<i>Palaemonetes carteri</i>
				<i>Trichodactylidae</i>	<i>Poppiana dentata</i>
					<i>Sylviocarcinus pictus</i>
				<i>Pseudothelphusidae</i>	<i>Fredius estevisi</i>
					<i>Fredius beccarii</i>
					<i>Microthelphusa bolivari</i>
			<i>Isopoda</i>		<i>Isopoda sp.1</i>
					<i>Isopoda sp.2</i>
					<i>Isopoda sp.3</i>
				<i>Philosciidae</i>	<i>Parischioscia omissa</i>

Phylum	Subphylum	Clase	Orden	Familia	Especie
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	<i>Brasilocaenis irmleri</i>
	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Euthyplociidae	<i>Campylocia anceps</i>
Leptophlebiidae				<i>Leentvaaria palpalis</i>	
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Aeshnidae	<i>Traverella sp.</i>
					Corduliidae
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Gomphidae	
					Libellulidae
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Odonata	Libellulidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Plecoptera	Perlidae	
					ARTROPODA
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Plecoptera	Perlidae	
					ARTROPODA

Phylum	Subphylum	Clase	Orden	Familia	Especie	
ARTROPODA	HEXAPODA	Insecta	Hemiptera	<i>Belostomatidae</i>	<i>Weberiella rhomboides</i>	
				<i>Guerridae</i>	<i>Rheumatobates sp.</i>	
			Hemiptera	<i>Trepobates sp.1</i>		
				<i>Trepobates sp.2</i>		
				<i>Naucoridae</i>	<i>Ambrysus sp.</i>	
				<i>Limnocoris sp.1</i>		
				<i>Notonectidae</i>	<i>Martarega sp.</i>	
				Megaloptera	<i>Coridalidae</i>	<i>Corydalis sp.1</i>
					Coleoptera	<i>Dytiscidae</i>
				<i>Copelatus sp.1</i>		
				<i>Copelatus sp.2</i>		
				<i>Dytiscidae sp.</i>		
				<i>Brachyvatus sp.</i>		
				<i>Laccophilus sp.</i>		
				<i>Gyrinidae</i>		<i>Gyretes sp.1</i>
				<i>Gyretes sp.2</i>		
				Diptera	<i>Hydrophilidae</i>	<i>Dibolocelus sp.</i>
					Chironomidae	<i>Chironomidae sp.1</i>
				<i>Chironomidae sp.2</i>		
				<i>Tipulidae</i>		<i>Tipulidae (larva) sp.1</i>
			Trichoptera	<i>Tipulidae (pupa) sp.2</i>		
				<i>Hydrobiosidae</i>	<i>Atopsyche sp.</i>	
				Hydropsychidae	<i>Leptonema sp.1</i>	
<i>Leptonema sp.2</i>						
<i>Macronema sp.</i>						
<i>Polycentropodidae</i>	<i>Polyplectropus sp.</i>					

Fuente: Mora-Day *et al.*, 2009.

A pesar del relativamente bajo esfuerzo de muestreo (Mora-Day *et al.*, 2008), se amplian los rangos de distribución de siete especies y se colectaron varias especies posiblemente nuevas para la ciencia. Un aspecto no menos importante es que los autores observan un reemplazo de especies de insectos acuáticos con los cambios hidrológicos y el tipo de sustrato en el gradiente del río; el cambio en la composición de especies observada también fue producto de la perturbación antrópica por minería (Mora-Day *et al.*, 2008), dada la relación entre el aumento de la concentración de sólidos totales en suspensión y la composición de especies en el río Cuyuní luego de la confluencia con el río Uey. Este último estuvo menos impactado por minería, fue el mejor muestreado y el que presentó mayor abundancia y riqueza de macroinvertebrados, por lo que debe ser considerado como un área prioritaria para la conservación de biodiversidad.

Dado que este estudio sólo abarca una fracción de una de las cuencas, resulta evidente que la diversidad de macroinvertebrados en la RFI es significativamente mayor, lo cual amerita su conservación y estudio.

5.1.2.2. Vertebrados

La revisión bibliográfica desarrollada para la elaboración de las listas de especies de vertebrados, grupo indicador seleccionado para la evaluación de la diversidad gama de la Reserva Forestal Imataca, incluye diversas publicaciones de la fauna venezolana (Mago, 1970; Lasso *et al.*, 2004; Rivero, 1971; Barrio-Amoros, 1998, 2004; Pefaur y Rivero, 2000; Molina *et al.*, 2009; Phelps y Meyer de Schauensee, 1994; Hilty, 2003; Rodríguez y Rojas-Suárez, 2008; Handley, 1976; Linares, 1998 y Wilson y Reeder, 2005).

5.1.2.2.1 Peces de la cuenca del río Cuyuní

Lasso y colaboradores (2009) llevan a cabo la evaluación rápida de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos de la cuenca alta del río Cuyuní, en donde estudian la riqueza de especies de peces de los ríos Uey y Cuyuní, a la vez que exploran varios ríos y quebradas en Sierra de Lema. La riqueza de especies de peces encontrada en la región fue de 125 especies, conformada por representantes de 7 órdenes y 31 familias, entre las cuales *Characidae* presenta la mayor riqueza específica con 36 especies, seguida de *Cichlidae* con diez especies (Tabla 13.15). En dicho estudio colectan seis especies nuevas para la ciencia, las cuales, por el momento, pasan a ser endémicas de dicho sistema fluvial.

La amenaza más evidente a las comunidades acuáticas del río Cuyuní, específicamente a la de los peces de esta cuenca, la constituyen las actividades mineras que han modificado sustancialmente la calidad del agua del río Cuyuní y algunos afluentes importantes, como el Junín, a la vez que han afectado los ecosistemas boscosos circundantes (Lasso *et al.* 2009).

Tabla 13.15. Riqueza de especies de peces reportadas para la cuenca alta del Río Cuyuní

Clase	Orden	Familia	Número de especies
<i>Elasmobranchii</i>	<i>Myliobatiformes</i>	<i>Potamotrygonidae</i>	1
		<i>Acestrorhynchidae</i>	2
		<i>Anostomidae</i>	6
		<i>Characidae</i>	36
		<i>Chilodontidae</i>	1
<i>Osteichthyes</i>	<i>Characiformes</i>	<i>Crenuchidae</i>	4
		<i>Curimatidae</i>	4
		<i>Cynodontidae</i>	2
		<i>Erythrinidae</i>	3
		<i>Gasteropelecidae</i>	1

Clase	Orden	Familia	Número de especies
Osteichthyes	Characiformes	<i>Hemiodontidae</i>	2
		<i>Lebiasinidae</i>	1
		<i>Parodontidae</i>	1
		<i>Prochilodontidae</i>	1
	Cyprinodontiformes	<i>Rivulidae</i>	2
		<i>Gymnotidae</i>	3
	Gymnotiformes	<i>Hypopomidae</i>	2
		<i>Sternopygidae</i>	3
	Perciformes	<i>Cichlidae</i>	10
		<i>Sciaenidae</i>	1
		<i>Aspredinidae</i>	3
		<i>Auchenipteridae</i>	4
	Siluriformes	<i>Callichthyidae</i>	3
		<i>Cetopsidae</i>	1
		<i>Doradidae</i>	2
		<i>Heptapteridae</i>	5
		<i>Loricariidae</i>	9
		<i>Pimelodidae</i>	2
		<i>Pseudopimelodidae</i>	2
		<i>Trichomycteridae</i>	7
		<i>Synbranchidae</i>	1
Synbranchiformes	<i>Synbranchidae</i>	1	

Fuente: Lasso *et al.*, 2009.

5.1.2.2.2. Herpetofauna de la cuenca alta del río Cuyuní

Durante el RAP efectuado en enero del 2008 en la cuenca del río Uey, afluente del río Cuyuní, se colectaron 29 especies de anfibios y 24 especies de reptiles. Todos los anfibios reportados pertenecen al orden Anura, dentro del cual las familias *Hylidae* y *Leptodactylidae* son las que más contribuyeron a la riqueza total (Tabla 13.16). La clase *Reptilia* está representada por el caimán negro, *Paleosuchus trigonatus*, dos especies de tortugas, 11 especies de lagartos y 10 de serpientes, en su mayoría de la familia *Colubridae* (Señaris *et al.*, 2009).

La composición de la herpetofauna de la cuenca alta del río Cuyuní es típicamente guayanesa. La presencia de elementos endémicos de la Sierra de Lema y la similitud con esta serranía en términos de diversidad y composición de su herpetofauna, dejan en evidencia una continuidad de su biota en las tierras bajas de la cuenca media del río Uey. En esta región, la minería ilegal, actividad en creciente aumento, es la principal amenaza a la herpetofauna, por lo que se

recomienda la protección activa e integral de la cuenca media y alta del río Uey (Señaris *et al.*, 2009).

Tabla 13.16. *Herpetofauna de la cuenca alta del río Cuyuní*

Clase	Orden	Familia	Número de Especie
Amphibia	Anura	<i>Allophrynidae</i>	1
		<i>Bufo</i>	2
		<i>Centrolenidae</i>	2
		<i>Eleutherodactylidae</i>	1
		<i>Hemiphractidae</i>	1
		<i>Hylidae</i>	11
		<i>Leptodactylidae</i>	7
		<i>Pipidae</i>	1
		<i>Ranidae</i>	1
		Reptilia	Crocodylia
Testudines	<i>Chelidae</i>		1
	<i>Testudinidae</i>		1
Squamata	<i>Scincidae</i>		1
	<i>Boiidae</i>		2
	<i>Colubridae</i>		6
	<i>Dactyloidae</i>		2
	<i>Elapidae</i>		1
	<i>Gekkonidae</i>		1
	<i>Gymnophthalmidae</i>		2
	<i>Teiidae</i>		2
	<i>Tropiduridae</i>		2
<i>Viperidae</i>	1		

Fuente: Señaris, 2009.

5.1.2.2.3. Aves de la RFI

La avifauna de la Reserva Forestal Imataca se conoce relativamente bien a nivel de la riqueza de especies, debido a que representa un área de gran interés para los observadores de aves, aunque la biología de muchas de ellas es poco conocida. Sin embargo, no toda la información existente ha sido publicada y mucha reposa en los archivos de los museos. La UCV (2000), recopiló la información publicada existente sobre suelo y fauna de la Reserva Forestal Imataca. Ocho años después se llevó a cabo Evaluaciones Ecológicas Rápidas en la cuenca alta del Cuyuní, área seleccionada como de importancia para la conservación de las aves (AICAS) por BirdLife (Lentino

et al., 2009). En dicha evaluación registraron un total de 254 especies de aves, pertenecientes a 49 familias, en la cuenca alta del río Cuyuní y estiman la riqueza de especies para dicha región es de 350 especies. Sin embargo, los autores aclaran que el número de especies puede ser mayor, toda vez que se incluyan especies migratorias continentales y regionales, así como las especies raras con baja densidad poblacional (Lentino *et al.*, 2008). En cuanto a la distribución geográfica, la mayoría de registradas en la cuenca alta del Cuyuní son de distribución amplia o muy amplia, y 126 especies de las 254 especies de aves están restringidas a la región Guayana (Lentino *et al.*, 2008).

Las áreas de distribución potencial de las aves de Venezuela descritas por Phelps y Meyer de Schauensee (1994) y Hilty (2003) permiten estimar la riqueza potencial de aves en la Reserva Forestal Imataca en poco más de 500 especies. Obviamente, esta estimación está condicionada a los criterios empleados por los autores para generar mapas de distribución de las especies a la escala de sus estudios, pero para fines que se persiguen en esta consultoría, da una buena aproximación. La lista de especies de aves cuya distribución potencial incluye a la Reserva Forestal Imataca se muestra a continuación (Tabla 13.17).

Las familias que mayor aporte hacen a la riqueza de especies de aves de la Reserva Forestal Imataca son *Tyraniidae* (82 especies), *Thamnophilidae* y *Thraupidae* con 33 especies cada una, *Accipitridae* con 28 especies y *Trochilidae* con 27 especies.

Tabla 13.17. Avifauna cuya distribución potencial incluye a la Reserva Forestal Imataca

Orden	Familia	Número de especies
<i>Anseriforme</i>	<i>Anatidae</i>	5
	<i>Anhimidae</i>	1
<i>Apodiformes</i>	<i>Apodidae</i>	7
	<i>Trochilidae</i>	27
<i>Caprimulgiformes</i>	<i>Caprimulgidae</i>	9
	<i>Nyctibiidae</i>	3
	<i>Burhinidae</i>	1
<i>Charadriiformes</i>	<i>Charadriidae</i>	2
	<i>Laridae</i>	3
	<i>Recurvirostridae</i>	2
	<i>Scolopacidae</i>	10
<i>Ciconiiformes</i>	<i>Ardeidae</i>	17
	<i>Ciconiidae</i>	3
	<i>Threskiornitidae</i>	1
<i>Columbiformes</i>	<i>Columbidae</i>	12

Orden	Familia	Número de especies
<i>Coraciiformes</i>	<i>Cerylidae</i>	5
	<i>Momotidae</i>	1
<i>Cuculiformes</i>	<i>Cuculidae</i>	11
	<i>Accipitridae</i>	28
<i>Falconiformes</i>	<i>Cathartidae</i>	5
	<i>Falconidae</i>	11
	<i>Pandionidae</i>	1
<i>Galliformes</i>	<i>Cracidae</i>	4
	<i>Odontophoridae</i>	2
	<i>Aramidae</i>	1
<i>Gruiformes</i>	<i>Eurypygidae</i>	1
	<i>Heliornithidae</i>	1
	<i>Psophiidae</i>	1
	<i>Rallidae</i>	5
	<i>Cardinalidae</i>	8
	<i>Corvidae</i>	2
	<i>Cotingidae</i>	9
	<i>Dendrocolaptidae</i>	13
	<i>Emberizidae</i>	16
	<i>Formicariidae</i>	5
	<i>Fringilidae</i>	1
	<i>Furnariidae</i>	8
	<i>Hirundinidae</i>	10
	<i>Icteridae</i>	14
<i>Passeriformes</i>	<i>Mimidae</i>	1
	<i>Parulidae</i>	12
	<i>Pipridae</i>	5
	<i>Poliophtilidae</i>	2
	<i>Thamnophilidae</i>	33
	<i>Thraupidae</i>	33
	<i>Troglodytidae</i>	8
	<i>Turdidae</i>	7
	<i>Tyrannidae</i>	82
	<i>Vireonidae</i>	8
<i>Pelecaniformes</i>	<i>Anhingidae</i>	1

Orden	Familia	Número de especies
	<i>Phalacrocoracidae</i>	1
	<i>Bucconidae</i>	8
	<i>Galbulidae</i>	5
<i>Piciformes</i>	<i>Picidae</i>	11
	<i>Ramphastidae</i>	1
	<i>Ramphastinae</i>	4
<i>Podicipediformes</i>	<i>Podicipedidae</i>	1
<i>Psittaciformes</i>	<i>Psittacidae</i>	17
<i>Strigiformes</i>	<i>Strigidae</i>	9
<i>Tinamiformes</i>	<i>Tinamidae</i>	4
<i>Trogoniformes</i>	<i>Trogonidae</i>	4

Fuente: Phelps y Meyer de Schauensee, 1994 y Hilty, 2003.

Se estima que el número de especies migratorias en la Reserva Forestal Imataca es de 47, siendo las migratorias boreales las más ricas en especies seguidas de las provenientes de Centroamérica y el Caribe y de las australes (Tabla 13.18)

Tabla 13.18. Número de aves migratorias en la Reserva Forestal de Imataca

Orden	Cuenta de Migratorio del norte que son residentes o en tránsito en Venezuela	Cuenta de Migratorios australes	Cuenta de migratorios de Centroamérica y el Caribe
<i>Anseriforme</i>	1	0	0
<i>Charadriiformes</i>	9	0	0
<i>Cuculiformes</i>	1	1	0
<i>Falconiformes</i>	5	0	4
<i>Passeriformes</i>	20	5	4
Total, general	36	6	8

Fuente: Hilty, 2003.

5.1.2.2.4. Mamíferos de la RFI

A pesar de la gran importancia que presenta la Biorregión Guayana en términos de su diversidad biológica, aún existen áreas poco exploradas a nivel mastozoológico en esta región, siendo frecuentes las descripciones de nuevas especies. En las últimas décadas se han desarrollado estudios puntuales con el objeto de contribuir al conocimiento de la mastofauna, como es el caso del RAP efectuado en la Cuenca alta del Cuyuní en 2008. En dicha evaluación se registraron 87 especies de mamíferos, pertenecientes a 10 órdenes y 27 familias. Sin embargo, no se logró

estimar la riqueza potencial de especies para la región debido a la no convergencia de la curva de saturación de especies (Lew *et al.*, 2009). De las 87 especies registradas, 15 se encuentran restringidas exclusivamente a la Guayana, otras nueve se encuentran en dos o tres Biorregiones de Venezuela mientras que los 63 restantes, presentan una amplia distribución en el país. Los gremios tróficos más ricos en especies son los frugívoros, insectívoros y omnívoros. Con respecto al valor de uso, 19 especies son de interés cinegético, ya sea para uso comercial y/o de subsistencia, la mayoría de las cuales se encuentran bajo algún grado de amenaza a sus poblaciones (Lew *et al.*, 2009).

Al estudiar los patrones de distribución potencial recopilados en publicaciones como Mamíferos de Venezuela (Linares, 1998), se puede estimar la riqueza potencial de la mastofauna de la Reserva Forestal Imataca en poco más de 200 especies. Los órdenes con mayor riqueza son *Chiroptera* y *Rodentia*, quienes en conjunto contienen prácticamente el 75% de las especies de mamíferos de la Reserva (Tabla 13.19).

Tabla 13.19. Mastofauna cuya distribución potencial incluye a la Reserva Forestal Imataca

Orden	Familia	Número de especies
<i>Artiodactyla</i>	<i>Cervidae</i>	3
	<i>Tayassuidae</i>	2
	<i>Canidae</i>	2
<i>Carnivora</i>	<i>Felidae</i>	6
	<i>Mustelidae</i>	6
	<i>Procyonidae</i>	4
	<i>Emballonuridae</i>	12
	<i>Furipteridae</i>	1
	<i>Molossidae</i>	20
	<i>Mormoopidae</i>	5
<i>Chiroptera</i>	<i>Natalidae</i>	2
	<i>Noctilionidae</i>	2
	<i>Phyllostomidae</i>	69
	<i>Thyropteridae</i>	2
	<i>Vespertilionidae</i>	15
<i>Lagomorpha</i>	<i>Leporidae</i>	1
<i>Marsupialia</i>	<i>Didelphidae</i>	16
<i>Perissodactyla</i>	<i>Tapiridae</i>	1
<i>Primates</i>	<i>Cebidae</i>	6

Orden	Familia	Número de especies
Rodentia	<i>Agoutidae</i>	1
	<i>Caviidae</i>	1
	<i>Dasyproctidae</i>	2
	<i>Echimydae</i>	6
	<i>Erethizontidae</i>	2
	<i>Hydrochaeridae</i>	1
	<i>Muridae</i>	24
	<i>Sciuridae</i>	4
Xenarthra	<i>Bradypodidae</i>	1
	<i>Dasypodidae</i>	5
	<i>Megalonychidae</i>	1
	<i>Myrmecophagidae</i>	3

Fuente: Linares, 1998.

5.1.2.3. Especies amenazadas

En la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente, se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpia, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestris* (Tabla 13.20). Numerosas especies se encuentran en menor riesgo.

Tabla 13.20. Aves y mamíferos con algún grado de amenaza presentes en la Reserva Forestal de Imataca.

Clase	Familia	Nombre	Nombre Común	Grado de Amenaza
Aves	<i>Accipitridae</i>	<i>Harpia harpyja</i>	Águila Harpia	VU
		<i>Morphnus guianensis</i>	Águila Morena	MR ca
		<i>Spizastur melanoleucus</i>	Águila Blanquinegra	MR ca
	<i>Anatidae</i>	<i>Cairina moschata</i>	Pato Real	MR pm
		<i>Euxenura (=Ciconia) maguari</i>	Gabán Pionio	MR pm
	<i>Ciconiidae</i>	<i>Jabiru mycteria</i>	Garzón Soldado	MR pm
		<i>Ara chloroptera</i>	Guacamayo Rojo	MR pm
	<i>Psittacidae</i>	<i>Amazona ochrocephala</i>	Loro Real	MR pm

Clase	Familia	Nombre	Nombre Común	Grado de Amenaza
Mammalia	<i>Icteridae</i>	<i>Icterus chrysiocephalus</i>	Moriche	MR pm
	<i>Dasypodidae</i>	<i>Priodontes maximus</i>	Cuspón	EP
	<i>Mustelidae</i>	<i>Pteronura brasiliensis</i>	Perro De Agua	EP
	<i>Myrmecophagidae</i>	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Oso Palmero	VU
	<i>Canidae</i>	<i>Speothos venaticus</i>	Perro De Monte	VU
		<i>Leopardus pardalis</i>	Cunaguaro	VU
	<i>Felidae</i>	<i>Leopardus wiedii</i>	Margay	VU
		<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo	VU
		<i>Panthera onca</i>	Jaguar	VU
	<i>Tapiridae</i>	<i>Tapirus terrestris</i>	Danta	VU
	<i>Didelphidae</i>	<i>Chironectes minimus</i>	Perrito De Agua	MR ca
	<i>Cervidae</i>	<i>Mazama gouazoubira</i>	Venado Matacán Pardo-Grisáceo	MR ca
		<i>Vampyrum spectrum</i>	Gran Falso Vampiro	MR ca
	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Lonchophylla thomasi</i>	Murciélago Longirrostro Acanelado	MR ca
		<i>Thyropteridae</i>	<i>Thyroptera discifera</i>	Murciélago De Ventosas De Vientre Pardo
	<i>Mustelidae</i>	<i>Lontra longicaudis</i>	Perro De Agua Pequeño	MR ca
	<i>Dasypodidae</i>	<i>Dasypus kappleri</i>	Cachicamo Montañero Grande	MR pm
	<i>Dasypodidae</i>	<i>Dasypus sabanicola</i>	Cachicamo Sabanero	MR pm
	<i>Felidae</i>	<i>Puma concolor</i>	Puma	MR pm
	<i>Tayassuidae</i>	<i>Tayassu pecari</i>	Báquiro Careto	MR pm
	<i>Cervidae</i>	<i>Mazama americana</i>	Venado Matacán Rojizo	MR pm
	<i>Sciuridae</i>	<i>Sciurus flammifer</i>	Ardilla Del Caura	MR pm
	<i>Murida</i>	<i>Oecomys rex</i>	Ratón Arrocero Arborícola De Dosel	MR pm
	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Chrotopterus auritus</i>	Falso Vampiro	MR pm
	<i>Furipteridae</i>	<i>Furipterus horrens</i>	Murciélago Ahumado	MR pm
	<i>Molossidae</i>	<i>Molossops abrasus</i>	Murciélago Cola Libre Amazónico	MR pm
		<i>Molossops neglectus</i>	Murciélago Cola Libre De Guayana	MR pm
	<i>Cervidae</i>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado	MR pm
	<i>Agoutidae</i>	<i>Agouti paca</i>	Lapa Llanera	MR dc
	<i>Hydrochaeridae</i>	<i>Hydrochaeris hydrochaeris</i>	Chigüire	MR dc

A excepción del águila harpía, las restantes especies no presentan programas específicos de monitoreo ni de conservación dentro de la Reserva Forestal Imataca, y la creciente presión que ejercen las actividades de extracción de madera y la minería legal e ilegal ejercen fuertes presiones en las poblaciones de estas especies amenazadas.



5.1.2.4. Especies cinegéticas y con valor potencial de cacerías de subsistencia

La Ley de Protección a la Fauna Silvestre de Venezuela del año 1970, define la caza como “la búsqueda, persecución, acoso, aprehensión o muerte de animales de la fauna silvestre, así como la recolección de los productos derivados de aquélla”. Existen cinco tipos de caza, los cuales están definidos con base a los fines por los cuales se practica.

1. Caza deportiva, se practica como recreación y ejercicio, sin otra finalidad que su realización en sí misma.
2. Caza de subsistencia o de autoconsumo, se realiza con fines alimentarios a nivel familiar, o sea, para abastecerse de bienes de uso.
3. Caza comercial, implica la explotación de la fauna para la venta de los animales silvestres y sus productos, suministrando así bienes de cambio.
4. Caza de control, tiene por finalidad reducir los daños que pueden ocasionar las especies silvestres a la agricultura, salud pública o ecosistemas nativos.
5. Caza con fines científicos, consiste en la recolección de animales para la investigación biológica, utilizando la fauna nativa como un recurso científico.

Para practicar la caza deportiva se debe disponer de una licencia respectiva y someterse a un calendario cinegético que establece las especies habilitadas, temporadas de caza, límites de piezas, áreas vedadas y demás normas pertinentes. La caza la suele practicar la clase media y alta urbana, tiene una finalidad de recreación y el número de piezas cobradas es bajo, estando orientada a aves y algunos grandes mamíferos. Esta práctica está sujeta al Calendario Cinegético de Cacería Deportiva, el cual se publica en Gaceta Oficial de la República de Venezuela (Figura 13.13).

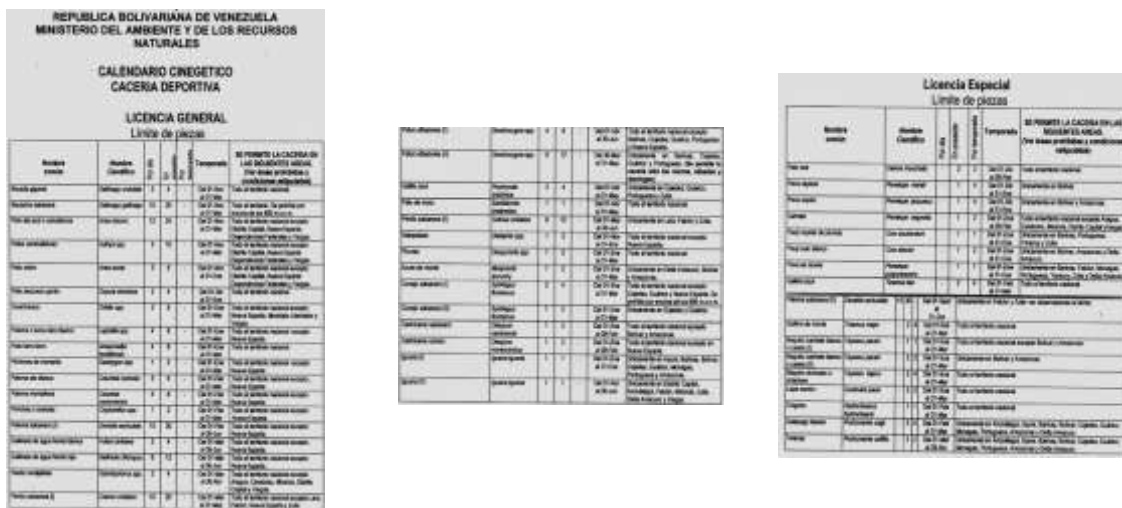


Figura 13.13. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Número 37.560 del jueves 31 de octubre de 2002.

La caza de subsistencia es la forma primaria de caza en todo el mundo y suele practicarse por indígenas y colonos de escasos recursos en áreas rurales, siendo una fuente importante de proteínas para la familia de los que la practican. Está muy extendida en la Reserva Forestal Imataca, y se desarrolla de manera más o menos continua durante el año, sin respetar vedas ni existir ningún control efectivo sobre dicha actividad. Ojasti (1993), compara las presas principales obtenidas por cacería de subsistencia por parte de indígenas y campesinos en selvas neotropicales (Tabla 13.21). El consumo promedio de carne de cacería de los habitantes indígenas es más que el doble de lo que consumen los campesinos.

Tabla 13.21. Comparación de las presas principales entre la cacería de subsistencia que practican los indígenas y campesinos colonos en selvas neotropicales: porcentaje de cada especie o renglón de la caza total, en números de animales recobrados y el peso total de los mismos.

Especie o renglón	Indígenas		Campesinos	
	% número	% peso	% número	% peso
<i>Tayassu pecari</i>	6,8	19,7	18,3	42,1
<i>Tayassu tajacu</i>	6,3	11,3	7	9,3
<i>Tapirus terrestris</i>	1,3	13,6	1,8	17,8
<i>Mazama</i> spp.	1,7	5,5	4,8	9
Primates	14,7	11,2	5,8	3,3
Aves	31,1	9	15,7	2,2
<i>Agouti paca</i>	6	5,9	5,8	4,8
<i>Dasyprocta</i> spp.	10,5	7,2	9,5	2,4
<i>Dasyopus</i> spp.	6,1	2,8	8,8	2,7
<i>Geochelone</i> spp.	2	0,9	18,7	4,2
Crocodylia	3,2	4,5	0,4	0,2
Carnivora	2,4	1,3	0,3	0,5
Myrmecophagidae	2,6	2,6	0,1	0,1
Otros mamíferos	5,2	4,4	1,1	1,4
Consumo promedio diario de carne de monte por habitante	186 g		72 g	

Fuente: Ojasti, 1993.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



La caza comercial está limitada a muy pocas especies, a menudo bajo un sistema de cuotas y sometida a la supervisión nacional y de CITES (Ojasti, 2000). La finalidad de esta está orientada a la obtención de carne, pieles y cueros, o ejemplares destinados al comercio de mascotas. Dicha modalidad de cacería se practica en la RFI de manera ilegal y sin ningún tipo de control por parte del estado, razón por la cual es imposible cuantificar el efecto de esta sobre la diversidad y, por ende, el valor económico que representa como actividad de manejo.

La caza de control tiene una importancia relativa baja, pues las actividades agropecuarias en la RFI se desarrollan a pequeña escala. Algunos vertebrados, nativos o introducidos, pero usualmente asociados a agroecosistemas, pueden alcanzar altas densidades y ocasionar daños significativos a los cultivos o al ganado. En estos casos, la legislación venezolana eventualmente puede autorizar su control, pero este tipo de cacería es a menudo un tema controversial, especialmente en el caso de los grandes depredadores que presentan problemas de conservación (Ojasti, 2000).

La cacería científica comprende la captura, recolección o muestreo de animales silvestres con fines de inventarios de fauna, evaluación de impactos ambientales, enriquecimiento de colecciones, conocimientos sistemáticos y demás investigaciones de campo que involucran la captura o muerte de animales silvestres. Esta figura legal puede incluir también la captura de animales para zoológicos, para la investigación biomédica y puede solaparse con la recolección de insectos con fines comerciales. A diferencia de otros, este uso se extiende a todo el reino animal y emplea gran variedad de técnicas e implementos propios, como redes de neblina y mallas entomológicas, trampas diversas, búsqueda y captura manual (Ojasti, 2000).

5.1.2.5. Fauna base de datos GBIF

La base de datos Global Biodiversity Information Facility (Infraestructura Mundial de Información sobre Biodiversidad) es una iniciativa internacional que diseña, implementa, coordina y fomenta la recopilación, vinculación, normalización, digitalización y divulgación de datos sobre la biodiversidad mundial, dentro de un marco de referencia que protege los derechos de autor y reconoce el origen de estos. Al consultar la base de datos, se observa una vez más la falta de información que se dispone sobre la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca, lo que se ve reflejada en los mapas correspondientes a los puntos de colecta de la información (Figura 13.14). Los registros correspondientes se incluyeron en las listas antes presentadas.

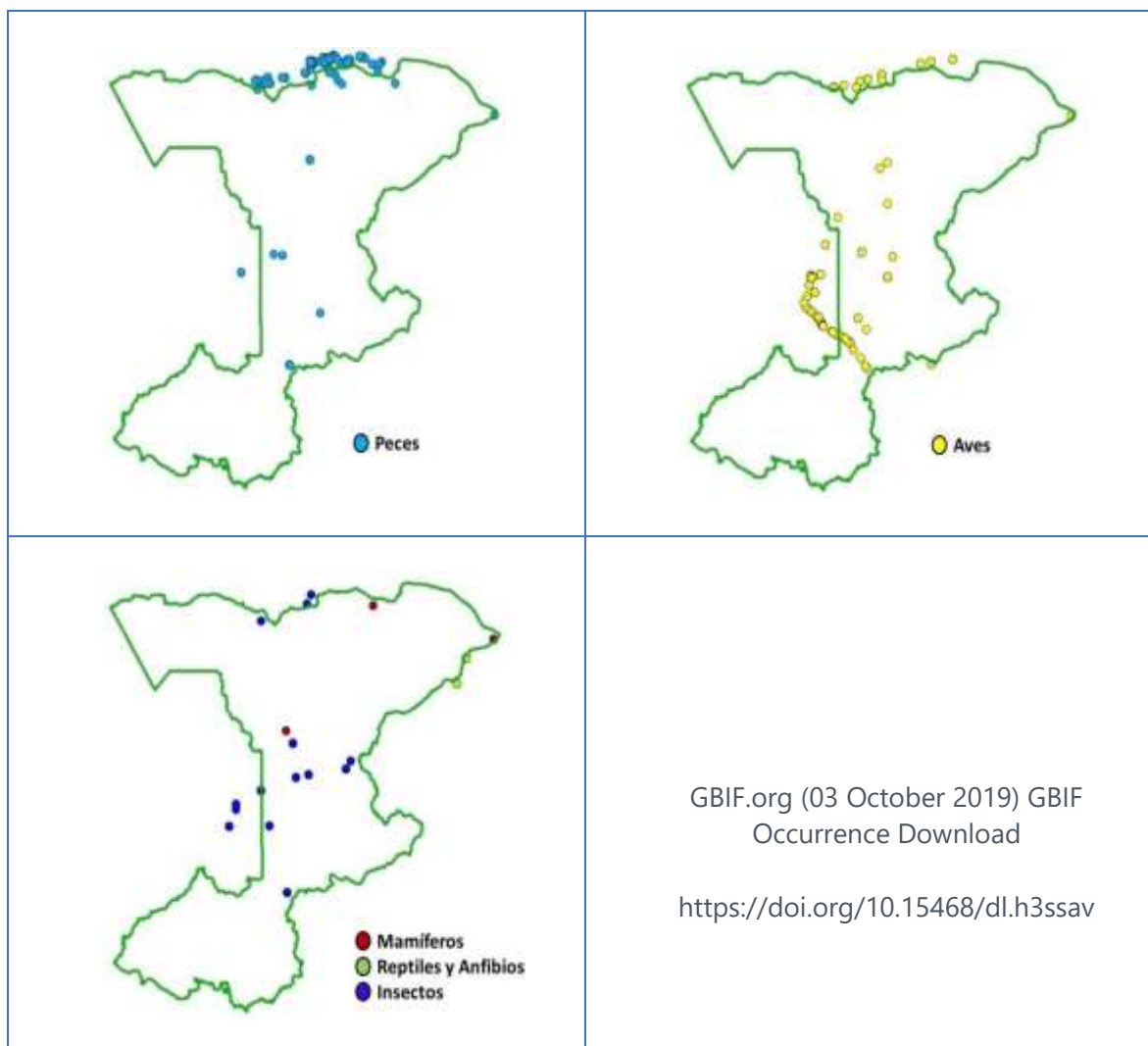


Figura 13.14. Puntos de muestreo de fauna registrados en la base de datos GBIF.

5.2. Valoración económica de la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca

5.2.1. Bases legales para la valoración económica de la biodiversidad en la RFI

La Reserva Forestal Selva El Dorado fue decretada el 9 de febrero de 1.961, según Resolución N° 47 del Ministerio de Agricultura y Cría (MAC), Gaceta Oficial N° 26 478, con una superficie de 600 000 ha. Dos años después, el Ministerio de Agricultura y Cría modificó la Resolución anterior, mediante la Resolución N° 15 del 7 de enero de 1.963, publicada en Gaceta Oficial N° 26 044, ampliando su superficie a 3 640 899 ha y denominándola Reserva Forestal Imataca.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



En 1985 el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables realizó una zonificación de la Reserva con la finalidad de optimizar la planificación y administración del Manejo Forestal en la misma, conformada por:

- Sector Imataca Norte: con una superficie aproximada, de Manejo Forestal bajo concesión de 710 000 ha, delimitada en seis (6) unidades destinadas a la producción forestal, una de las cuales está dedicada a la producción de Palmito (*Euterpe oleracea*). Además, existían cuatro (4) unidades que no han sido incorporadas al manejo forestal.
- Sector Imataca Centro: Este sector estaba dividido en seis (6) unidades, de las cuales cuatro están incorporadas al manejo forestal abarcando una superficie de 774 335 ha, restando por licitar dos unidades.
- Sector Imataca Sur: Estaba constituida por cuatro (4) unidades, de las cuales recientemente se ha incorporado al manejo la Unidad S-3, con una superficie de 130 000 ha, las tres restantes no han sido licitadas. En general, 1 614 335 ha se encuentran en producción a través de la ejecución de Planes de Ordenación y Manejo Forestal, amparados por la Figura de contratos administrativos a particulares (concesionarias forestales).

El Ejecutivo Nacional mediante Decreto N° 1 850 de fecha 14 de mayo de 1997 y publicado en Gaceta oficial N° 36 215 del 28 de mayo de 1997, promulga el Plan de Ordenamiento y Uso de la Reserva Forestal Imataca, a objeto de normar las actividades del manejo integral sostenible en la Reserva Forestal Imataca (POU-RFI), regulando y promoviendo el uso racional del espacio y de los recursos naturales, a fin de lograr el mayor bienestar de la población, la conservación del ambiente y la seguridad y defensa nacional. Para ese momento se establece cinco (5) Unidades de Ordenamiento. Dichas unidades son:

1. Zona de Manejo Forestal (ZMF).
2. Zona de Manejo de la Planicie de Desborde (ZMPD).
3. Zona de Investigación Especial (ZIE).
4. Zona de Protección (ZP).
5. Zona de Manejo Mixto (ZMM).

En el mencionado Plan de ordenamiento y uso, específicamente en el Artículo 9° del POU-RFI se establecen los programas operativos, conformados por un conjunto de actividades específicas dirigidas a orientar la correcta aplicación de las disposiciones establecidas en el mismo. Se especifica que la ejecución de los programas se llevará a cabo con la participación de los diferentes organismos que tienen inherencia en el área. Los programas identificados son:

1. Programa de Gestión.
2. Programa de Manejo Forestal.
3. Programa de Investigación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Programa de Recuperación de Áreas Degradadas.
5. Programa de Vigilancia y Control Ambiental.
6. Programa de Educación Ambiental.
7. Programa de Seguridad y Defensa.
8. Programa de Valoración Económica Ambiental.
9. Programa de Infraestructura.
10. Programa de Evaluación de Actividad Minera.
11. Programa de Resguardo y Permanencia de los Asentamientos Humanos.

Siete años después se deroga el Decreto N° 1 850 y se decreta el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal Imataca, Estados Bolívar y Delta Amacuro, Decreto 3 110, de fecha 07 de septiembre de 2004, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38 028 del 22 de septiembre del 2004.

Bajo este nuevo Plan de Ordenamiento y Uso, el objetivo general de la Reserva Forestal Imataca es:

La administración y manejo de la Reserva Forestal Imataca tendrá como objetivo general el aprovechamiento de los recursos naturales, bajo el principio del desarrollo sustentable, compatibilizando los usos asignados con el uso forestal, la conservación de la diversidad biológica y el ambiente, la permanencia de los pueblos y comunidades indígenas y criollas y el resguardo de sus valores socio-culturales, así como la seguridad y defensa de la Nación. (Artículo 2)

En el Artículo 3° se establece que a los fines del Presente Decreto se entenderá por:

Conservación del Ambiente: Proceso constituido por un conjunto de acciones o medidas orientadas a diagnosticar, inventariar, restablecer, restaurar, mejorar, preservar, proteger y aprovechar los recursos naturales, los ecosistemas, la diversidad biológica y demás elementos del ambiente, en garantía del desarrollo sustentable.

Preservación: Aplicación de medidas para mantener las características actuales de la diversidad biológica, de los recursos naturales y demás elementos del ambiente.

Protección: Es la no utilización de la cobertura arbórea, del suelo y espacio destinado para tal fin.

En el Artículo 6° de este Plan de Ordenamiento de la Reserva Forestal Imataca, se plantean nuevos lineamientos. Éstos son:

1. Fortalecer la coordinación interinstitucional para lograr la eficiencia administrativa de la Reserva Forestal Imataca.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



2. Establecer los parámetros regulatorios para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del área.
3. Sustituir el uso agrícola no tradicional, por el uso agroforestal y propiciar plantaciones forestales en áreas degradadas, así como regular las actividades tradicionales.
4. Diversificar los usos múltiples del bosque.
5. Coadyuvar al desarrollo de las actividades ecoturísticas mediante el aprovechamiento sustentable del potencial paisajístico y de los recursos naturales existentes en el área.
6. Identificar áreas para el aprovechamiento de recursos minerales dentro de las Zonas de Ordenamiento previstas, fomentando la aplicación de técnicas y métodos de bajo impacto ambiental y, propiciar el progresivo cambio de uso hacia aquellos más acordes con el objetivo fundamental de la Reserva Forestal Imataca.
7. Implementar programas para la educación y participación de la población en la conservación y protección del ambiente y de los recursos naturales de la Reserva Forestal Imataca.

Adicionalmente, el Plan de Ordenamiento y Uso de la RFI del 2004 modifica la zonificación propuesta en 1997, estableciendo diez Zonas de Ordenamiento con ámbito espacial y administrativo dentro de la Reserva Forestal, a saber:

1. Zona de Manejo Forestal (ZMF)
2. Zona de Manejo Forestal con Limitaciones (ZMFL)
3. Zona de Protección (ZP)
4. Zona de Reservorio de Genes (ZRG)
5. Zona de Recuperación (ZR)
6. Zona de Manejo Especial Forestal con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFAPCI)
7. Zona de Manejo Especial Forestal - Minero (ZMEFM)
8. Zona de Manejo Especial Forestal - Minero con Alta Presencia de Comunidades Indígenas (ZMEFMAPCI)
9. Zona de Manejo Especial Agroforestal (ZMEA)
10. Zona de Manejo Especial Agroforestal con Alta presencia de Comunidades Indígenas (ZMEAPCI)



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Aunque la palabra conservación no aparece expresamente mencionada ni en los lineamientos ni en los usos y actividades permitidas en cada una de las zonas con ámbito espacial y administrativo definidas en el nuevo Plan de Ordenamiento y Uso de la RFI, sí aparecen los elementos constitutivos del conjunto de acciones o medidas que la definen. Asimismo, el mencionado Plan de Ordenamiento y Uso contempla un programa operativo dirigido específicamente a la Conservación e Investigación.

Los programas operativos son instrumentos dirigidos a lograr los objetivos del plan de Ordenamiento, mediante la aplicación, fomento, supervisión y coordinación de acciones que garanticen la correcta viabilidad de este. Ellos comprenden las actividades de regulación de: la ocupación del territorio, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la recuperación de las áreas degradadas, la prevención y control de incendios de vegetación, la contaminación ambiental, la educación ambiental, la participación comunitaria y la investigación. La ejecución de los programas operativos se llevará a cabo con la participación de los diferentes organismos que tienen inherencia en el área. Estos programas son:

1. Programa de Gestión.
2. Programa de Manejo Forestal.
3. Programa de Conservación e Investigación.
4. Programa de Recuperación de Áreas Degradadas.
5. Programa de Educación Ambiental y Participación Comunitaria.
6. Programa de Seguridad y Defensa.
7. Programa de Valoración Económica Ambiental.
8. Programa de Infraestructura.
9. Programa de Evaluación de Actividad Minera.
10. Programa de Resguardo y Permanencia de las Comunidades Indígenas y otros Asentamientos Humanos. (Artículo 18)

Toda propuesta orientada a la conservación debe estar en concordancia con el Plan de Manejo y Uso de la Reserva, y estar enmarcada dentro de uno o varios de los programas operativos de la misma, por tanto, no puede estar desligada del espíritu del Programa de Conservación e Investigación, el cual tiene como finalidad:

la ejecución de actividades relacionadas con la protección y conservación de la Reserva Forestal Imataca, su diversidad biológica, sus recursos genéticos, hídricos, la evaluación de los diferentes usos y de cambio de usos de tierra, impacto ambiental y socioeconómico de la minería. Igualmente, realizar estudios científicos tendientes a obtener información sobre los ecosistemas y potencialidad de los



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



recursos naturales, así como determinar las tecnologías más adecuadas para su uso racional, a fin de orientar las acciones para lograr un aprovechamiento sustentable, minimizar los riesgos ambientales y, establecer los parámetros para la cooperación científica, incorporando oportunamente la información científica y técnica que sea actualizada.

El programa de Conservación e Investigación contempla dos subprogramas:

1. Subprograma Conservación Integral de los Recursos Naturales: tiene como finalidad prevenir y minimizar la degradación de los suelos, aguas, bosques y de la diversidad biológica en general dentro de los linderos de la Reserva Forestal Imataca.
2. SubPrograma de Información e Investigación: Tiene como finalidad generar información y conocimiento vinculado a los recursos naturales y socioculturales dentro de la Reserva Forestal Imataca.

El programa de conservación que servirá de base para estimar el valor de conservación de la diversidad biológica de la Reserva se debe enmarcar dentro del Subprograma Conservación Integral de los Recursos Naturales.

Doce años después, el 24 de febrero de 2016, se decreta la Creación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional "Arco Minero del Orinoco", Decreto N° 2 248 del publicado en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Número 40 855, del mismo día, cuya poligonal se sobrepone a Área Bajo Régimen de Administración Especial Reserva Forestal Imataca.

Se articula de la siguiente manera:

Se crea la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional "Arco Minero del Orinoco", para el estímulo sectorial de las actividades asociadas a los recursos minerales que posee el país, con criterio de soberanía, sustentabilidad y visión sistémica con el sistema de planes sectoriales y espaciales del país, acordes con el Decreto con Rango, Valor y Fuerza de la Ley de Regionalización Integral para el Desarrollo Socioproductivo de la Patria. Dicha zona se regirá por la normativa prevista en este Decreto. Delimitación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco. (Artículo 1º)

En el Artículo 2º se delimita la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco, asignándole una superficie de ciento once mil ochocientos cuarenta y tres mil con setenta décimas de kilómetros cuadrados (111 843,70 Km²), delimitando la poligonal correspondiente.

Artículo 3º. La Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco podrá organizarse internamente en cuatro (04) áreas, con fines de desarrollo y de organización administrativa, dentro de planificación y ejecución de políticas asociadas a este decreto y marco legal:

Área 1: área más occidental hasta el río Cuchivero con predominancia de Bauxita, Coltán, Tierras raras y Diamante. Superficie: 24 680,11 Km².



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Área 2: entre el río Cuchivero y río Aro, con predominancia de Hierro y Oro.
Superficie: 17 246,16 Km².

Área 3: entre el río Aro y el límite este del Arco Minero, predominancia Bauxita, Oro y Hierro. Superficie: 29 730,37 Km².

Área 4: extensión del Arco Minero (Imataca) predominan Oro, Bauxita, Cobre, Caolín y Dolomita. Superficie: 40 149,69 Km².

Evidentemente, existe un solapamiento del arco minero del Orinoco con diversas Áreas Bajo Régimen de Administración Especial lo que provoca conflictos en el uso conforme a cada unidad y una "violación de los Planes de Ordenamiento y Reglamentos de Uso de las Reservas Forestales Imataca, San Pedro, El Dorado-Tumeremo, Parque Nacional El Caura (antiguamente Reserva Forestal) y Parque Nacional Canaima" (ULA, 2017).

En el Artículo 10, se establece un lapso de seis meses contado a partir de la publicación del presente Decreto en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, para la elaboración del Plan de Desarrollo Específico de cada Zona. En el Numeral 7 del mencionado Artículo, se le asigna a los Ministerio con competencia en materia de Ecosocialismo, Agua y Pueblos Indígenas la responsabilidad de generar y fomentar los planes de manejo ambiental, variables de uso y pReservación, además de fortalecer y pReservar las culturas y costumbres ancestrales, así como sus distintas modalidades y expresiones.

Por otra parte, se establece la responsabilidad del cumplimiento de metas específicas a las empresas beneficiaras del Decreto, asignando responsabilidad en materia ambiental.

Artículo 20. Las empresas privadas, estatales y mixtas que opten por los beneficios establecidos en este Decreto, deberán comprometerse con el Consejo de Gestión de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco, al cumplimiento de metas específicas en:

- a) Producción.
- b) Aporte al Producto Interno Bruto.
- c) Sustitución de Importaciones.
- d) Generación de Exportaciones.
- e) Transferencia de Tecnología.
- f) Inversión Social.
- g) Inversiones productivas.
- h) Reducción de costos de producción.
- i) Protección del Ambiente.
- j) Desarrollo Tecnológico.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Los datos asociados a las distintas fases del proceso productivo, incluida la data de las geociencias, en sus distintos alcances, de la cadena de valor deben ser consignados al ministerio rector, así como los modelos y esquemas de explotación que se desarrollen.

La Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, como Vocera del Pueblo Soberano, pronuncia un Acuerdo sobre el Decreto de Creación de la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional "Arco Minero Del Orinoco". El primer acuerdo corresponde a:

PRIMERO. Desconocer por ser contrario a los intereses de la República y en abierta violación de los derechos ambientales constitucionales, el Decreto 2 248, de fecha 24 de febrero de 2016, emitido por el Presidente de la República, en Consejo de Ministros, publicado en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 40 855, con una extensión de 111 846,70 kilómetros cuadrados, denominado Zona de Desarrollo Estratégico Minero Nacional Arco Minero del Orinoco, razón por la cual esta Asamblea Nacional niega la autorización constitucional al ejecutivo nacional en el llamado "Arco Minero", con el objetivo expreso de proteger las últimas Reservas de agua dulce, no contaminada del país, ubicadas al sur del Orinoco, la riqueza en biodiversidad contenida en la Reserva Forestal Imataca, la Reserva Forestal El Caura, La Paragua, las zonas protectoras, la Cuenca del Río Caroní, los Tepuyes (formaciones biogeográficas únicas en el mundo), el hábitat de los pueblos indígenas, y demás Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, Aéreas Protegidas o de Especial Importancia Ecológica.

A pesar de la compleja situación legal que pretende normar las actividades en la otrora Reserva Forestal Imataca, se deben implementar de manera inmediata un programa de conservación de la diversidad biológica que permita resguardar los intereses de la nación. Los costos derivados de su conceptualización, planificación, implementación y ajuste, permiten estimar el valor de conservación de la diversidad biológica presente en la Reserva Forestal Imataca.

Un programa de conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales debe contener objetivos específicos y medibles que permitan evaluar la efectividad de la gestión. Normalmente, no es práctico formular un objetivo para cada uno de los componentes de la biodiversidad o de los servicios ecosistémicos derivados de sus procesos ecológicos, pues eso complica considerablemente la gestión ambiental (Roncancio-Duque y Vélez Vanegas, 2019). Por lo tanto, como paso inicial de un programa de conservación se deben seleccionar unos elementos sustitutos que representen los objetivos de la conservación, denominados Valores Objeto de Conservación (VOC), los cuales permiten establecer las políticas ambientales, intervenciones y acciones de manejo específicas que permitan alcanzar los objetivos de conservación propuestos.

Los Valores Objeto de Conservación suelen ser paisajes, procesos o grupos de taxonómicos que cumplen funciones de especies indicadoras, clave, paraguas o banderas. Los grupos indicadores son ampliamente utilizados en la evaluación del estado ecológico de un ecosistema, puesto que reflejan los cambios en el ambiente frente a las actividades antrópicas que afectan a diferente escala (Isasi-Catalá, 2011). La selección de estos se realiza a partir de una lista preliminar



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



de atributos de las comunidades terrestres y acuáticas de mayor vulnerabilidad, tomando en cuenta que deben responder de manera consistente a los cambios producidos por las amenazas y producir respuestas que se diferencien claramente de la variación natural de los sistemas biológicos. Por tal razón, suelen seleccionarse especies paraguas o claves como indicadores del estado de conservación de ecosistemas terrestres, mientras que para ambientes acuáticos se tiende a estudiar la y composición, diversidad o algún otro parámetro de ciertas comunidades (Segnini, 2003 y Romero, 2016).

Como parte del programa de valoración de la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca, se seleccionaron 5 Valores Objeto de Conservación, entre los que se encuentran las unidades de paisaje denominadas Clases de Vegetación, la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (indicadores de calidad de agua), la comunidad de peces (indicador de calidad de agua y de sobrepesca), así como el águila arpía y el jaguar, ambas especies paraguas particularmente sensibles a la cacería y a la deforestación. Con ello, se pretende generar un plan de manejo concertado con todos los actores del territorio para lograr su conservación efectiva y consolidar la estructura ecológica del subsistema.

Una rápida detección de la perturbación que causa una actividad antrópica permite la implementación oportuna de las intervenciones y acciones de manejo, que no son más que las medidas que se deben ejecutar para detener, disminuir, contrarrestar los efectos de las amenazas al estado de conservación de la Reserva (Fierro-Calderón *et al.*, 2018 y Zamudio *et al.*, 2018).

Las acciones de manejo e intervención propuestas están enmarcadas dentro de los programas operativos de la Reserva, bien sea: Gestión, Manejo Forestal, Recuperación de Áreas Degradadas, Educación Ambiental y Participación Comunitaria, Infraestructura, Evaluación de Actividad Minera y, por supuesto, Conservación e Investigación.

Conforme al objetivo general del Plan de Ordenamiento y Uso de la Reserva Forestal Imataca (República de Venezuela, 2004) surge de manera natural un propósito a alcanzar a través de los programas operativos que se deben adelantar en la Reserva, siendo éste,

Conservar la diversidad biológica actual, presente en la Reserva, garantizando un uso racional del espacio y de los recursos naturales, a fin de lograr el mayor bienestar de la población venezolana.

Para cada valor objeto de conservación propone un plan de manejo que permita alcanzar su objetivo de conservación específico.

5.2.2. Enfoque manejo adaptativo

A nivel mundial se han desarrollado múltiples enfoques para garantizar la conservación de recursos naturales. Sin duda alguna, el manejo adaptativo es el enfoque dominante y el que en la actualidad emplea el United State of the Interior, así como todas las agencias ambientales relacionadas con el manejo y la conservación de la diversidad en Estados Unidos (Williams *et al.*, 2007). Este programa de manejo ha sido ampliamente recomendado en los programas de

manejo de conservación ambiental, debido a que supera varias de las complicaciones que se han hecho frecuentes en los programas de manejo en el pasado.

Westgate *et al.* (2013), lo define como un enfoque sistemático para mejorar el manejo de recursos al aprender de los resultados del manejo, y lo precisa con la frase "aprender haciendo", cuyo objetivo es combinar la necesidad de acción inmediata con un plan de aprendizaje. Por otra parte, para Márquez *et al.* (2017), el manejo adaptativo es "una aproximación sistemática a la toma de decisiones estructurada en situaciones donde se tiene un conocimiento parcial". De tal manera que el Manejo Adaptativo, surge como una respuesta natural a situaciones donde existe una alta incertidumbre en el sistema natural, pero donde se tiene la posibilidad de implementar acciones de manejo a partir de las intervenciones necesarias detectadas en el marco conceptual correspondiente. En otro caso, donde se tiene poco o ningún control sobre el sistema, bien sea por la falta de recursos para implementar acciones de manejo o por limitaciones legales, se recomienda utilizar como aproximación a la toma de decisiones, los Escenarios de Planificación. En una situación de conocer detalladamente el comportamiento de los sistemas naturales y de tener bajo control sobre el mismo, se utilizan herramientas propias de la Estrategias de Cobertura, mientras que cuando se tiene capacidad de control en el sistema se utiliza los métodos de Rendimiento Máximo Sostenido (Figura 13.15).



Figura 13.15. Aproximaciones a la toma de decisiones en sistemas naturales.
Fuente: Peretsen et al. (2003).

Un programa de Manejo Adaptativo cuenta con cinco pasos claves (Figura 13.16), a saber:

1. **Conceptualización.** En esta etapa se elabora el marco conceptual del Valor Objeto de Conservación (VOC) de interés, a partir de la información bibliográfica disponible y de la experticia de los investigadores. Adicionalmente, se seleccionan los modelos matemáticos que se utilizarán para describir el sistema y predecir el efecto de las intervenciones sobre

el atributo. Dichos modelos compiten con base a su capacidad para predecir el impacto de las acciones de manejo sobre el sistema.

2. **Planificación.** Consta de la definición de los objetivos de conservación, manejo y de monitoreo, así como del plan de acción a seguir, en el cual se especifican detalladamente las intervenciones y acciones de manejo propuestas. En esta etapa se desarrollan los protocolos de monitoreo y de intervención. Junto a la conceptualización conforman las dos etapas claves de la toma de decisiones estructuradas del manejo adaptativo.
3. **Implementación,** comprende la puesta en práctica del muestreo piloto, de la evaluación de la magnitud de las amenazas sobre el VOC (Valor Objeto de Conservación) y de las acciones de manejo planificadas en la etapa anterior.
4. **Análisis, uso y adaptación.** Corresponde a las etapas en las que se analizan los datos obtenidos en el monitoreo, se evalúa el efecto de las amenazas y de las acciones de manejo sobre el VOC, se comparan los modelos matemáticos que compiten para describir el sistema y se realizan los ajustes necesarios al programa de manejo adaptativo.
5. **Aprendizaje.** Junto a las dos etapas anteriores conforman las etapas de generación y uso de nuevo conocimiento del sistema, que garanticen la optimización del plan de manejo en un sistema complejo con alto grado de incertidumbre.



Figura 13.16. Etapas del manejo adaptativo
Fuente: Williams *et al.*, 2007.

Dentro del enfoque del manejo adaptativo, cada Valor Objeto de Conservación presenta un estado deseado, que no es más que el objetivo de conservación o simplemente el estado en el que se debería encontrar dicho objeto si el programa de manejo está cumpliendo con su objetivo. Los métodos empleados para evaluar el estado tanto del objeto de conservación, como de los factores que lo impactan se enmarcan en lo que se denomina Monitoreo para la Conservación (Nichols y Williams, 2006).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El monitoreo permite evaluar si existe la necesidad de intervenciones de manejo en caso de que el estado del objeto de conservación no sea el deseado, o si las intervenciones de manejo tienen el efecto esperado tanto en las amenazas como en el estado del objeto de conservación. Por tanto, el objetivo del monitoreo es poder evaluar si ha habido un cambio en el estado del objeto de conservación, así como de las amenazas, a fin de poder determinar la necesidad de manejo, o evaluar el éxito de las intervenciones de manejo que se están desarrollando. El objetivo del monitoreo debe incluir el área de estudio, la variable que se quiere medir, la direccionalidad y la magnitud del cambio que se desea detectar, el marco temporal, así como el nivel de incertidumbre sobre el cambio que se considera razonable (Nichols y Williams, 2006 y Márquez *et al.*, 2017).

La magnitud y direccionalidad del cambio en el estado del Valor Objeto de Conservación que queremos poder detectar en el monitoreo, está determinado por la variación considerada como relevante para la toma de decisiones dado el objetivo de manejo. Mientras más grande sea el cambio que queremos detectar, más fácil será detectarlo. Por ejemplo, si el objetivo de manejo es mantener la diversidad, la magnitud del cambio que se quiere detectar está determinada por un umbral que señala un deterioro en el estado de la comunidad biológica que requeriría la realización de acciones de manejo que permitan revertir la situación y volver a ese estado considerado como aceptable. Sin embargo, el esfuerzo requerido para tener un nivel de incertidumbre aceptable, en cuanto a la magnitud del cambio a ser detectado, en muchos casos, requiere de un esfuerzo de muestreo tan grande, que lo hace imposible dadas las condiciones del área. La evaluación del estado del elemento del objeto de conservación está basada en la mayoría de los casos en el resultado de un muestreo, esto es, en un estimador del parámetro que nos indique el estado del elemento de interés. Este estimador tiene una incertidumbre asociada a su varianza y al esfuerzo de muestreo realizado. El nivel de incertidumbre a tomar como referencia en el objetivo del monitoreo está dado por la magnitud del error asociado al estimador que estamos dispuestos a aceptar para la toma de decisiones. El monitoreo evalúa si existe una diferencia en el estado del objeto de conservación, al comparar estimados de la probabilidad del estimador de un elemento en dos puntos en el tiempo (periodos, temporadas, años) (Márquez *et al.*, 2017).

Un paso clave en el monitoreo es la identificación del atributo que se utilizará para caracterizar el estado del objeto de conservación, así como la variable y los modelos matemáticos que servirá para evaluar este atributo, predecir los cambios que se alcanzarán con las intervenciones, evaluar los cambios en el mismo, evaluar el cumplimiento de los objetivos de manejo y orientar las nuevas intervenciones a desarrollar en el sistema (Lindenmayer y Likens, 2009 y Márquez *et al.*, 2017). Dichos atributos normalmente corresponden a propiedades emergentes del nivel de organización de la materia al que pertenece el objeto de conservación. Es así como para poblaciones, se suele emplear la densidad, la cobertura, el tamaño poblacional, la ocupación, mientras que para comunidades se mide la composición, la riqueza, la diversidad, etc. A nivel de paisajes se evalúa la integridad, el estado de conservación o su grado de hemerobia.

Bajo esta aproximación a la toma de decisiones, al emplear manejo adaptativo, el estado del sistema en un momento dado orienta las acciones de manejo. Dichas intervenciones conducen

al sistema a un nuevo estado, genera nuevo conocimiento a partir del cual se toman nuevas decisiones de manejo (Figura 13.17). Para evaluar el estado actual de conservación de la biodiversidad de la Reserva es necesario realizar un muestreo piloto el cual además de evaluar el efecto de las amenazas sobre el objeto de conservación, permitirá estimar el esfuerzo de muestreo necesario en el monitoreo de la misma. Es decir, que por un lado permitirá conocer el estado actual de los indicadores, y por el otro permitirá ajustar el muestreo, así como las medidas a aplicar. Los tiempos entre las jornadas de monitoreo se estimaron en función de los propios indicadores, así como, por el análisis de las áreas deforestadas en la RFI en el tiempo. La tasa de deforestación actual exige que los muestreos que forman parte de programa de monitoreo se hagan anualmente.

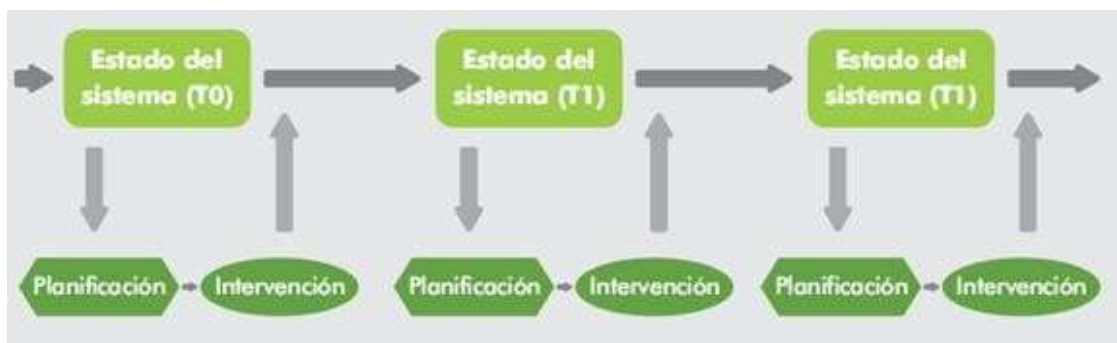


Figura 13.17. Esquema del modelo de Manejo Adaptativo
Fuente: Márquez et al. (2017).

5.2.3. Marco Conceptual para el Manejo Adaptativo para la Conservación de la Biodiversidad de la RFI

La fauna y flora de la Reserva Forestal Imataca se encuentra compuesta principalmente por elementos propios de las Biorregiones Guayana, Deltaica del Río Orinoco y de la Costera Continental (UCV, 2000 y MARN, 2001), lo que le confiere una extraordinaria biodiversidad (Aguilera *et al.*, 2003). Sin embargo, hay poca información publicada sobre la riqueza de especies de la Reserva, a excepción de algunos inventarios preliminares de fauna (Ochoa, 1995 y Giraldo *et al.*, 2006), nuevos registros y ampliaciones de distribución de vertebrados (Duellman, 1997; Gorzula y Señaris, 1999 y Señaris *et al.*, 2009), estudios de acumulación de metales pesados en la fauna acuática (Nico y Taphorn, 1994 y Farina *et al.*, 2008), impactos de la extracción de madera (Mason, 1996 y Ochoa, 2000) y la Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní (Lasso *et al.*, 2009) y así como estudios flora y vegetación de las áreas bajo explotación forestal.

La pérdida de cobertura vegetal es sin duda la principal causa de disminución de la calidad de hábitats terrestres y, por ende, la principal amenaza a la diversidad biológica en la zona sur de la Reserva Forestal Imataca. Las razones por las que se pierde cobertura en la Reserva son diversas.

Destacan, la tala de especies forestales que ocurre como parte de los planes de manejo forestal de la Reserva, la pérdida de vegetación y suelo producto de la minería, la cual, adicionalmente provoca la pérdida de calidad de los ecosistemas acuáticos. La actividad minera, incrementa la tasa de arrastre de sedimentos, incorpora metales pesados de alta toxicidad a su cauce (como es el caso del mercurio), e incrementa del avance de la frontera agrícola. Dichas amenazas afectan seriamente uno de los más importantes Hotspots de diversidad que están presentes en la República Bolivariana de Venezuela.

La tasa de deforestación en la zona sur de la Reserva Forestal de Imataca, se evaluó mediante el análisis de la pérdida de cobertura vegetal en el periodo 1985 – 2015 a partir de imágenes de satélite tomadas a intervalos de 5 años, obtenidas del SIG Google Earth, las cuales están procesadas en color. Empleando el software QGIS se realizó la clasificación de la banda roja de cada una de las imágenes en la cual se obtuvo únicamente las áreas de suelo descubierto.

La Figura 13.18, muestra las imágenes a color de los dos momentos contrastantes, 1985 y 2015, mientras que la Figura 13.19, presenta en negro las áreas sin cobertura vegetal, a intervalos de diez años, las cuales se encuentran principalmente en áreas aledañas a centros poblados y a las carreteras que se encuentran en la región. La accesibilidad a la zona, bien sea por carretera o a través de los ríos, determina el grado de deterioro ambiental existente.



Figura 13.18. Pérdida de cobertura vegetal en el área sur de la Reserva Forestal Imataca. Período, 1985 -2015. Imagen a color.

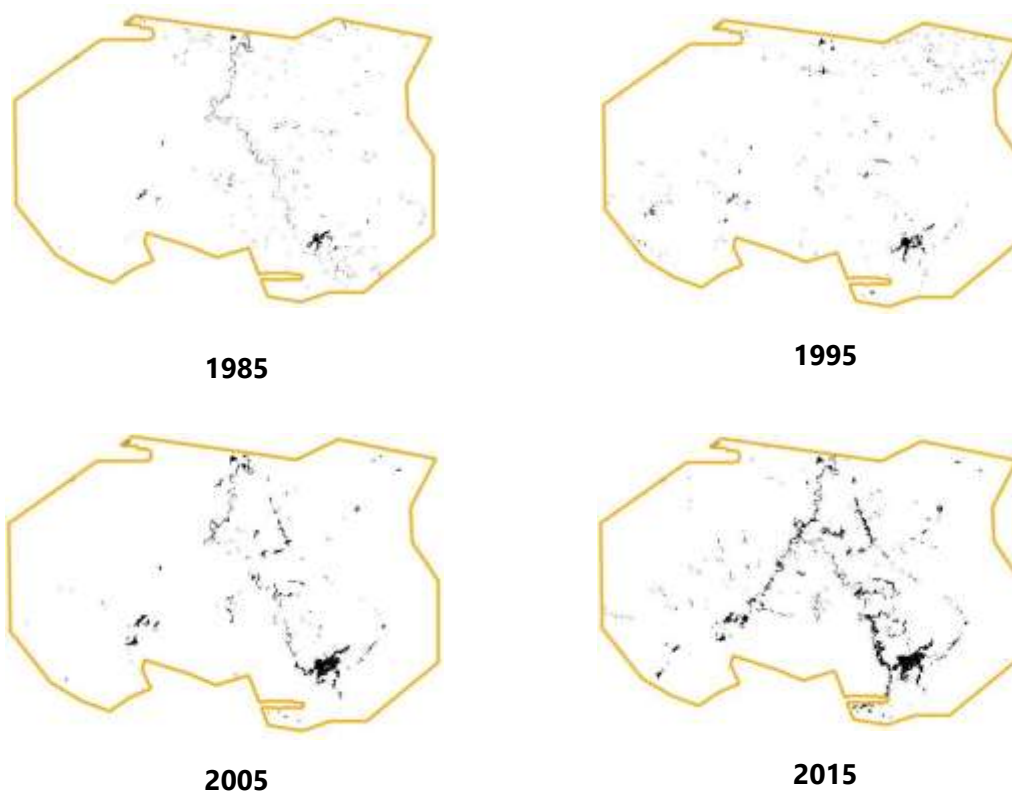


Figura 13.19. Pérdida de cobertura vegetal en el área sur de la Reserva Forestal Imataca. Período 1985 -2015. En negro, áreas sin cobertura vegetal.

Al estimar la superficie sin cobertura vegetal en la zona sur de la Reserva al cabo de 30 años podemos apreciar un incremento notable en la tasa de deforestación, la cual puede duplicar su superficie en tan sólo una década (TABLA 13.22).

Tabla 13.22. Superficie de suelo sin cobertura vegetal en la zona sur de la Reserva Forestal Imataca. Período 1985 – 2018.

Año	Área (Km ²)
1985	44,099
1990	48,08
1995	47,466
2000	70,457
2005	86,744
2010	124,227
2015	171,336
2018	240,377

El valor del área deforestada calculada en 2018, se obtuvo mediante la digitalización de las áreas de un mosaico de alta resolución en formato vectorial. Para el año 1985 había sólo un 18% respecto al área actual sin cobertura vegetal. Esta proporción se mantuvo baja por unos 20 años. Pero partir del 2010 hasta el presente, en menos de 10 años, esta proporción se duplicó. A partir de estos valores se ajustó un modelo lineal que describe una alarmante tendencia de incremento de la pérdida de la cobertura vegetal en la Reserva (Figura 13.20).

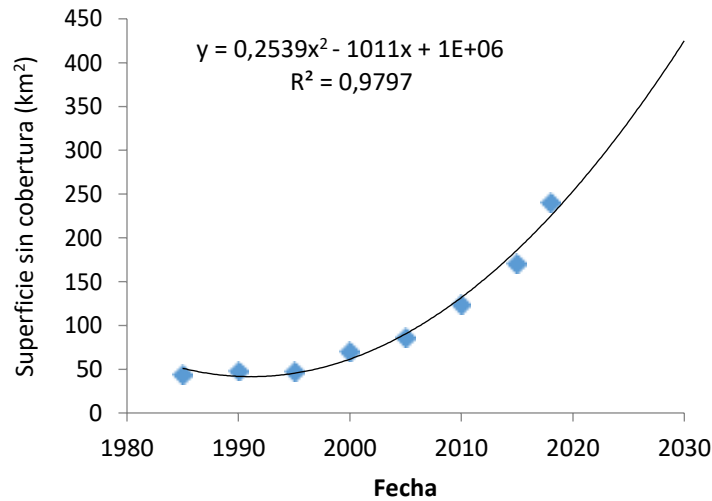


Figura 13.20. Pérdida de cobertura vegetal en la zona sur de la Reserva Forestal Imataca.

La pérdida de hábitat no sólo ocurre en los ambientes terrestres. Los ecosistemas lóticos y lénticos se ven seriamente afectados, tanto por el arrastre de sedimentos producto de la erosión de áreas deforestadas para la extracción de madera, como por la mal llamada minería ecológica, bien sea legal o ilegal. No menos importante es el mal uso de mercurio, de diversos floculantes como el cianuro, el vertido de combustibles y lubricantes a suelos y aguas, así como la disposición sin control ni tratamiento de aguas servidas y desechos sólidos. Los ríos que atraviesan las zonas de explotación, se convierten en cloacas con vertidos de desechos industriales no manejados, distribuyéndose aguas abajo de todas estas descargas, trascendiendo de esta manera el impacto de la actividad minera mucho más allá de los confines de las áreas de explotación (Pisapia *et al.*, 2008). Los niveles de mercurio en peces ictiófagos y entomófagos colectados en la cabecera del río Uey (un afluente del río Cuyuní, ubicado en la Sierra de Lema), supone un importante transporte del metal desde las zonas donde se practica la minería en pequeña escala (Farina *et al.*, 2008). Los altos valores del índice Cuota de Riesgo, estimados en el Uey, son indicativos de una seria situación de riesgo para la salud de las poblaciones locales, producto del consumo de pescado (Farina *et al.*, 2008).

La construcción de carreteras, caminos y picas de acceso hacia las áreas de explotación, sin ningún tipo de estudio de impacto ambiental y sin minimizar los pasivos ambientales derivados de tales actividades, son otro grave problema ambiental en la zona, puesto que facilita el acceso e incrementa exponencialmente la explotación irracional de los recursos de la zona. Como consecuencia el fácil acceso hacia las zonas naturales, aumenta la cacería de subsistencia y la

cacería comercial ilegal (para consumo y para mascotas), incrementa la tasa de incendios, aumenta la tasa de erosión, incrementa marginalmente las actividades agropecuarias, las cuales son poco atractivas debido a su baja rentabilidad al compararla con las actividades de extracción. En resumen, aumentan diversos factores que provoca la pérdida de la biodiversidad en la zona.

El siguiente esquema resume las principales amenazas a la diversidad biológica presentes en la Reserva Forestal de Imataca, y a la vez establece la lista de elementos a monitorear, así como las áreas específicas donde se deben implementar, tanto los programas de monitoreo de la diversidad biológica, como las acciones de manejo e intervenciones dirigidas a alcanzar los objetivos deseados (Figura 13.21).



Figura 13.21. Actividades que determinan las principales amenazas a la diversidad biológica en la Reserva Forestal Imataca.

5.2.4. Plan General de Manejo Adaptativo para los diferentes Valores Objeto de Conservación, VOC

A continuación, se describen los programas de manejo propuestos para cada valor objeto de conservación seleccionados para la Reserva Forestal Imataca, indicando los aspectos básicos del modelo conceptual, objetivos de conservación, manejo y monitoreo correspondientes, las métricas empleadas en el monitoreo, una breve descripción del método de colecta de datos y las acciones de manejo propuestas.

Los VOC seleccionado corresponden a taxa indicadoras de las amenazas potenciales de la Reserva Forestal Imataca, como son las poblaciones de harpías y jaguares, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, peces y plantas basculares. En conjunto, estos cinco valores

objeto de conservación permiten evaluar el impacto de las actuales amenazas que afectan la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca y el monitoreo de los atributos de interés permiten evaluar la efectividad de las intervenciones propuestas.

Los planes de manejo adaptativo a desarrollar se implementarían en un sector de al menos 8 500 Km² de la Reserva Forestal Imataca. Dicha área debe contar con al menos un 80% de cobertura de bosques no intervenidos, de manera tal, de poder mantener una población viable de águila arpía (Álvarez-Cordero, 1996 y Vargas *et al.*, 2006) y de jaguares (Koford, 1976 y Seymour, 1989), dos especies paraguas que se consideran valores objetos de conservación para la Reserva. Dicho sector es suficientemente grande como para evaluar los cambios ocurridos en cobertura de diversas clases de vegetación, así como el estado de conservación de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos.

Dado la presión actual a la que se ve sometida la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca, se sugiere implementar este programa de conservación en el sector sur de la Reserva Forestal Imataca, área actualmente amenazada por diferentes actividades económicas legales e ilegales (Figura 13.22). El área total definida para este proyecto piloto de conservación es de 8 707 Km².



Figura 13.22. Sector a implementar el programa piloto de conservación de la diversidad de la Reserva Forestal Imataca.

Para la implementación de los programas de manejo adaptativo de los valores objetos de conservación, se hace necesario implementar el programa operativo de infraestructura y de gestión, con los que se debe garantizar unas condiciones mínimas para el funcionamiento a corto, mediano y largo plazo de las acciones de manejo e intervenciones necesarias para alcanzar los objetivos de conservación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



La infraestructura mínima requerida es la siguiente:

- Un centro administrativo con salones de reuniones y de exposición permanente.
- Un centro de investigación, con laboratorios equipados, colecciones y herbario.
- Un banco de germoplasma.
- Cinco viveros experimentales.
- Cinco puestos de vigilancia y control.
- Cinco puestos de bomberos forestales.

Asimismo, se debe activar el programa operativo de gestión que garantice los recursos necesarios para mantener el siguiente personal operativo:

- Personal administrativo
- Personal de Investigación Técnicos y especialistas
- Especialistas en Educación Ambiental
- Guardaparques o guardafaunas
- Personal de vivero
- Bomberos forestales

5.2.4.1. Programa de Manejo Adaptativo de clases de vegetación

La distribución e importancia relativa de las diferentes unidades, subunidades y clases de vegetación, así como de los macroecosistemas de la Reserva Forestal Imatoca se ha descrito previamente en este documento. Si bien existen listas parciales de plantas vasculares para algunas unidades de vegetación de la Reserva, los inventarios que se están efectuando hoy en día siguen ofreciendo nuevas especies, muchas de las cuales son nuevas para la ciencia. Algunas especies presentes en la Reserva presentan un alto grado de amenaza, razón por la que se encuentran en la Lista Roja de la Flora de Venezuela.

Como se ha mencionado previamente, las principales amenazas a estas comunidades, que causan la alarmante tasa de deforestación reportada, es producto de las labores de explotación forestal, la minería, la quema, la expansión de la frontera agrícola y urbana, la construcción de infraestructura y de vías de comunicación.

Ante tales amenazas surge la necesidad de establecer una serie de intervenciones o acciones de manejo que minimicen el impacto de las actividades de explotación legal, a la vez que controlen las amenazas potenciales no autorizadas que generan una pérdida significativa de la cobertura vegetal. Entre ellas se contempla:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Control y vigilancia de las actividades forestales, asegurándose el cumplimiento de los programas de manejo estipulados para cada uno de los lotes y parcelas que se encuentran en concesión. Esta acción de manejo queda enmarcada dentro de los programas operativos de Manejo Forestal, el programa de Infraestructura y el programa de Gestión.

Intervención propuesta: creación de puestos de vigilancia y control. Elaboración e implementación del programa de vigilancia y control de concesiones forestales.

2. Control y vigilancia de las actividades mineras legales y erradicación de la minería ilegal como parte del programa operativo de Evaluación de Actividad Minera.

Intervención propuesta: Elaboración e implementación del programa de vigilancia y control de concesiones mineras y erradicación de la minería ilegal.

3. Reforestación de las áreas degradadas por actividades productivas contemplada en el programa operativo de Recuperación de Áreas Degradadas.

Intervención propuesta: creación del banco de germoplasma y de viveros capaces de producir y sembrar un millón de plantas al año.

4. Conservación de suelos degradados o perdidos por actividades mineras legal e ilegal, contemplada en el programa operativo de Recuperación de Áreas Degradadas y en el programa de evaluación de actividad minera.

Intervención: creación e implementación del programa de conservación de suelos en las concesiones mineras.

5. Recuperación de suelos degradados o perdidos por actividades mineras legal e ilegal, contemplada en el programa operativo de Recuperación de Áreas Degradadas y en el programa de evaluación de actividad minera.

Intervención: creación e implementación del programa de recuperación de suelos perdidos y degradados.

6. Control y prevención de incendios forestales, actividad que forma parte de programa operativo de Conservación e Investigación.

Intervención: Creación de un cuerpo de bomberos forestales con una unidad aeronáutica y de torres de vigilancia en puntos críticos. Creación e implementación del programa de Control y prevención de incendios forestales.

7. Educación Ambiental orientada a fomentar la participación ciudadana en resguardo del ambiente y la conservación de los conocimientos ancestrales de las Comunidades Indígenas. La unidad de educación ambiental forma parte del programa operativo de Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: creación de la unidad de Educación Ambiental. Creación e implementación de los programas educativos.

8. Monitoreo del estado de conservación de las clases de vegetación y ajuste del plan de manejo adaptativo implementado para el VOC, contemplado en el programa operativo Conservación e Investigación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Intervención: Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para el VOC.

El programa de conservación orientado a proteger la cobertura vegetal de las diferentes clases de vegetación tiene los siguientes objetivos:

- Objetivo de conservación: Mantener la biodiversidad vegetal en la Reserva Forestal Imataca.
- Objetivo de manejo: mantener la cobertura actual cada una de las clases de vegetación en los próximos 10 años dentro de la poligonal.
- Objetivo de monitoreo: poder detectar una pérdida del 20% de la cobertura actual de cada clase de vegetación en un periodo de 10 años, dentro de el área bajo manejo en la Reserva Forestal Imataca con significancia 0,10 y potencia 0,90.

Programa de monitoreo

Variable indicadora del estado de conservación del VOC:

Dada la dificultad inherente de proteger cada una de las especies que conforman la vegetación de la Reserva, se propone como indicador del grado de protección la biodiversidad vegetal a la cobertura de cada una de las clases de vegetación y su respectivo Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI). En conjunto, estos índices permiten monitorear el estado de cada unidad de vegetación, bien sea la pérdida de diversidad por deforestación o la tasa de regeneración natural o producto de las plantaciones forestales.

Método de estimación de la cobertura y del Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI):

El NDVI, permite identificar tanto el área, como los tipos de cobertura vegetal en función de "verdor" de la vegetación, mediante imágenes de satélite (Chuvienco, 2006 y Meneses-Tovar, 2011). Se propone el uso de imágenes satelitales Sentinel, del programa Copernicus, de la Agencia Espacial Europea (ESA), correspondientes a las fechas de los periodos de cada una de las evaluaciones del monitoreo (cada 6 meses). Cada período, requiere 9 imágenes satelitales, las cuales cubren el área en la que se implementará el programa piloto de conservación en la Reserva. El cálculo del índice se efectúa bajo cualquier programa SIG (ArcGis, QGIS), y requiere las bandas 4 (rojo) y 8 (infra rojo cercano). Los valores del NDVI altos, se corresponden a las coberturas densas para herbazales, arbustales y bosques. El valor promedio del índice para cada una de las unidades vegetales es empleado como el indicador del estado de conservación de la vegetación. El cálculo del área de cada cobertura, en cada período de tiempo, permitirá evaluar los cambios ocurridos entre periodos.

Frecuencia de Monitoreo: Semestral

Análisis de datos: se establecerá la diferencia en cobertura y NDVI para cada una de las clases de vegetación presentes en la poligonal de manejo. En caso de estimar una tasa de pérdida de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



cobertura para alguna clase de vegetación superior a 20% en un periodo de 10 años, se deben tomar las siguientes acciones de manejo:

- Al área ocupada por dicha clase de vegetación, que presente en buen estado de conservación, esto cuyo NDVI sea igual a superior a igual al 75% del valor máximo que presenta dicha clase de vegetación, se le asignará el estatus de Unidad bajo Protección (es la no utilización de la cobertura arbórea, del suelo y espacio destinado para tal fin), por un plazo de 10 años.
- El resto del área ocupada por dicha clase de vegetación tendrá una alta prioridad en los programas de reforestación y restauración natural.

El costo aproximado de este programa de monitoreo es de unos 25 000 USD en equipos y 75 000 USD en imágenes satelitales, materiales y suministros por año (Márquez Com. Pers.).

5.2.4.2. Programa de Manejo Adaptativo para Jaguar (*Panthera onca*)

El jaguar, *Panthera onca*, es el felino de mayor tamaño de Latinoamérica. En el pasado su distribución se extendía desde el suroeste de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina, en un intervalo altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 2 500 m. Actualmente, se ha reducido su distribución en al menos un 46% de su valor histórico, habiéndose extinguido en el Salvador y en Uruguay (Rabinowitz y Zeller, 2010). En Venezuela sólo es relativamente común al sur de Orinoco, en Delta Amacuro, Sierra de Perijá, sur del Lago de Maracaibo y partes de los Llanos Occidentales, y existen poblaciones aisladas en Falcón, en algunas áreas de la Cordillera de la Costa, en la serranía de Turimiquire y en Los Andes (Jedrzejewski *et al.*, 2015).

A escala global, el jaguar está clasificado como una especie Casi Amenazada (IUCN, 2014). Sin embargo, se le considera Extinto en El Salvador y Uruguay; En Peligro Crítico en Estados Unidos, Honduras y Panamá, y Vulnerable en Argentina, Perú y Colombia. En Ecuador, la subespecie *Panthera onca onca* (Amazonía) está calificada como En Peligro y la subespecie *Panthera onca centralis* (Costa) clasificada En Peligro Crítico (Jedrzejewski *et al.*, 2015).

Los jaguares utilizan paisajes en los que existen mosaicos de bosques y sabanas, a condición de que existan suficientes presas. En este sentido, la deforestación es una amenaza indirecta, pues afecta tanto la diversidad como la abundancia de sus presas potenciales (Payán *et al.*, 2015). La diferencia que existe entre la deforestación provocada por la creación de campamentos mineros y la que se provoca en las concesiones forestales es la magnitud de la deforestación y la intensidad de la caza de subsistencia, esta última es proporcional a la cantidad de personas que laboran en cada actividad. Ambas son las principales causas de pérdida de hábitat para esta especie.

Por otra parte, la actividad ganadera genera serios conflictos con los programas de conservación de jaguar, puesto que normalmente los ganaderos envenenan o cazan los jaguares que se encuentran en la zona de producción y áreas aledañas, por considerarlos depredadores potenciales de ganado. La caza de subsistencia permite la presencia de jaguares siempre y cuando ésta se realice a pequeña escala (Payán *et al.*, 2015). La cacería comercial y deportiva de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



jaguares, aunque prohibida por la legislación venezolana, diezma las poblaciones remanentes, al incrementar la tasa de extinción local en las metapoblaciones presentes en los parches de vegetación no explotados en las concesiones forestales. Este tipo de casería ilegal se ve facilitado al construir carreteras y picas de acceso, pues permite el acceso a las áreas donde se encuentran los jaguares.

Aparte de las seis (6) estrategias contempladas para mitigar y controlar las amenazas que existen sobre la cobertura vegetal de las clases de vegetación, se contemplan actividades específicas orientadas a conservar la población de jaguares. Entre ellas:

1. Garantizar la conectividad de áreas boscosas remanentes, actividad enmarcada en los programas operativos de Gestión y de Conservación e Investigación.

Intervención: Actualizar los programas de manejo de las concesiones forestales y mineras para contemplar este aspecto, fundamental en la conservación de jaguares y especies paragua.

2. Control y vigilancia de las actividades de cacería de subsistencia, así como la eliminación de la cacería comercial y deportiva a la que se ve sometida esta especie, actividades enarcanadas en el programa operativo de Conservación e Investigación.

Intervención: Elaborar e implementar programas de vigilancia y control de actividades de cacería de subsistencia y eliminación de la cacería comercial y deportiva.

3. Educación Ambiental orientada a la protección y conservación del jaguar. La unidad de Educación Ambiental forma parte del programa operativo Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: Implenetación de programas de Educación Ambiental para la conservación del Jaguar.

4. Monitoreo del estado de conservación de la población del jaguar y ajuste del plan de manejo adaptativo implementado para el VOC, contemplado en el programa operativo Conservación e Investigación.

Intervención: Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para el VOC.

El programa piloto de conservación orientado a proteger la población de jaguar en la poligonal de 8 707 Km² en la zona sur de la Reserva Forestal presenta los siguientes objetivos:

- Objetivo de conservación: Mantener una población viable de jaguar en la Reserva Forestal Imataca.
- Objetivo de manejo: mantener la ocupación actual de jaguar dentro de la poligonal durante los próximos 10 años.
- Objetivo de monitoreo: poder detectar una pérdida del 20% de la ocupación actual del jaguar en el área bajo manejo en un período de 10 años, con significancia 0,10 y potencia 0,90.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Programa de monitoreo de jaguar

Variable indicadora del estado de conservación del VOC. En la última década, han incrementado en popularidad los modelos para estimar patrones de distribución de especies (*e.g.* ocupación), y las tasas dinámicas que determinan estos patrones (*e.g.* colonización, extinción), dado que generan resultados precisos con un esfuerzo más eficiente y menos costosos que los obtenidos en estudios de abundancia poblacional (Royle y Nichols, 2003 y MacKenzie *et al.*, 2006).

La ocupación, definida como la probabilidad que una especie ocupe una unidad de muestreo durante un periodo específico de tiempo (MacKenzie *et al.*, 2002, 2006), es una variable robusta para el monitoreo del estado poblacional de una especie, ya que nos permite discriminar entre la ausencia verdadera de la especie y el error de no-detectarla aun cuando está presente. En su estimación se corrige el efecto de diferentes factores que afectan la detectabilidad, indicándonos de manera confiable la proporción del paisaje o área protegida donde se encuentran individuos de la especie (MacKenzie *et al.*, 2002, 2006). De esta manera, la probabilidad de detección permite corregir el sesgo que las detecciones imperfectas causan en la estimación de la probabilidad de ocupación, obteniéndose mejores inferencias sobre la distribución y uso de hábitat de la especie (MacKenzie *et al.*, 2002 y Karanth *et al.*, 2011).

Los modelos de ocupación han sido utilizados como una herramienta para la investigación, monitoreo y el manejo adaptativo de poblaciones de grandes mamíferos (Karanth *et al.*, 2009, 2011), evaluando los factores que afectan la probabilidad de ocupación y detección. Los resultados de estos análisis permiten predecir cambios en la ocupación de la especie bajo diferentes escenarios relacionados con las presiones y acciones de manejo, permitiendo la toma informada de decisiones para el manejo, y la posterior evaluación de la efectividad de las acciones de manejo. En el caso del jaguar se propone emplear como métrica del estado de la población, la ocupación.

Método de estimación: Modelos de ocupación de una temporada para una especie, con estimación del efecto de las covariables de sitio y de muestreo, a saber:

- Covariables de sitio (Ocupación): Distancia a centros de vigilancia y control, distancia a concesión maderera en explotación, distancia a centros poblados, distancia a áreas de explotación minera, abundancia de presas potenciales.
- Covariables de muestreo (Probabilidad de detección) distancia a cuerpo río o cuerpo de agua, distancia a carretera, tipo de vegetación, método de detección, longitud de transecto, tiempo de actividad de trampa cámara.

Unidad de Muestreo. Tres niveles: nivel primario cuadrante de 64 Km², valor mayor al home range de una hembra en bosques húmedos, nivel secundario subcuadrante de 16 Km² y tercer nivel, sectores de 4 Km².

Número de unidades de muestreo. Se evaluarán una matriz de detección con 50 sitios en el muestreo piloto y se ajustará a partir de la detección y de la probabilidad de detección observada en campo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Método de detección. Señales y rastros en transectos y detección en estaciones de trampas cámara.

Número de visitas por temporada. La matriz de detección se establece a partir de registros de detección de señales y rastros en transectos, y de detección en trampas cámara. Las visitas consistentes en registros de señales y rastros se obtendrán con los datos recopilados en tres transectos de 4,5 Km, conformados por 3 subtransectos de 1,5 Km, efectuados dentro de 3 subsectores en tres sectores seleccionados para alcanzar una máxima potencia a la hora de evaluar el efecto de las covariables de sitio. Esta se repetirá al retirar las trampas cámara, con lo que serán 6 visitas basadas en transectos. Por otra parte, se colocará una estación de fototrampeo en dos de los cuatro subsectores, con dos trampas cámara cada una, permaneciendo activas por al menos 60 días, por temporada. El registro fotográfico de 20 días corresponderá a una visita.

Frecuencia de Monitoreo: bianual.

El costo aproximado de este programa de monitoreo es de unos 200 000 USD en equipos y 100 000 USD en implementación cada dos años (Márquez Com. Pers.).

5.2.4.3. Programa de Manejo Adaptativo para Águila arpía (*Harpía harpyja*)

Es el águila más poderosa de Venezuela, siendo la especie de mayor tamaño de los accipítridos. Existen pequeñas poblaciones aisladas en el sur de México, Guatemala, Belice, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam, Guyana Francesa, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay y noreste de Argentina en la provincia de Misiones. Su situación en México y en la mayor parte de Centroamérica es precaria. En Venezuela su distribución se encuentra restringida a los bosques primarios de la sierra de Perijá, sur del lago de Maracaibo, Cordillera de la Costa central, Monagas, Delta Amacuro, Amazonas y Bolívar (Sharpe *et al.*, 2015).

La Lista Roja de la Fauna Venezolana considera que esta especie es Vulnerable (Jedrzejewski, *et al.*, 2015), pues las poblaciones de la Cordillera de la Costa se consideran muy amenazadas y extremadamente reducidas, ocupando entre el 20 y el 50% de su distribución histórica (Sharpe *et al.*, 2015). Sin embargo, al sur del Orinoco, el águila arpía aún es más o menos común puesto que existen algunas áreas de gran extensión con poca perturbación. A escala internacional la IUCN la reporta como Casi Amenazada. (Jedrzejewski, *et al.*, 2015)

Sus características biológicas, como la baja densidad poblacional, baja tasa de reproducción (una cría cada dos o tres años), larga duración de cuidado parental (de 22 a 30 meses), amplios requerimientos espaciales (Home range de 45 a 79 Km²), poca tolerancia a modificaciones ambientales que disminuyen el número de presas potenciales, la vuelven fundamentalmente vulnerable a la pérdida y fragmentación del hábitat (Álvarez, 1996 y Sharpe *et al.*, 2015). Otra amenaza importante para la especie es la caza, bien sea por temor o por uso de sus garras como trofeo o amuleto (Sharpe *et al.*, 2015).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Aparte de las seis (6) estrategias contempladas para mitigar y controlar las amenazas que existen sobre la cobertura vegetal de las clases de vegetación, se contemplan actividades específicas orientadas a conservar la población de águila arpía. Entre ellas:

1. Garantizar un área mínima de protección alrededor de cada nido de águila arpía detectado en el programa de monitoreo, por un periodo no menor a 50 años. El área protegida será un círculo de 200 m de radio, tomando como centro el nido. El área será protegida independientemente de que el nido deje de estar activo o que se destruya por causas naturales o actividad antrópica. Esta actividad se encuentra enmarcada en los programas operativos de Gestión y de Conservación e Investigación.

Intervención: Actualizar los programas de manejo de las concesiones madereras y mineras para contemplar este aspecto, fundamental en la conservación del águila arpía.

2. Control y vigilancia de las actividades de cacería de subsistencia, así como la eliminación de la cacería deportiva, a la que se ve sometida esta especie, actividades enmarcadas en el programa operativo de Conservación e Investigación.

Intervención: Elaborar e implementar programas de vigilancia y control de actividades de cacería de subsistencia y eliminación de la cacería comercial y deportiva.

3. Educación Ambiental orientada a la protección y conservación del águila arpía. La unidad de educación ambiental forma parte del programa operativo en Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: Implementación de programas de Educación Ambiental para la conservación del águila arpía.

4. Desarrollo de actividades de ecoturismo dirigidas a visitar nidos de águila arpía, donde se garantice la participación de las comunidades locales. Esta actividad se encuentra enmarcada en los programas operativos Programa de Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: Diseño, implementación y seguimiento de los programas ecoturísticos destinados a la visita de nidos activos de águila arpía a cargo de las comunidades locales.

5. Monitoreo del estado de conservación de la población del águila arpía y ajuste del plan de manejo adaptativo implementado para el VOC, contemplado en el programa operativo Conservación e Investigación.

Intervención: Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para el VOC.

El programa piloto de conservación orientado a proteger la población de águila arpía en la poligonal 8 707 Km² en la zona sur de la Reserva Forestal presenta los siguientes objetivos:

- Objetivo de conservación: Mantener una población viable de águila arpía en la Reserva Forestal Imataca.
- Objetivo de manejo: mantener la ocupación actual de águila arpía dentro de la poligonal de durante los próximos 10 años.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Objetivo de monitoreo: poder detectar una pérdida del 20% de la ocupación actual del águila arpía en el área de manejo de la Reserva Forestal Imataca, en un período de 10 años, con significancia 0,10 y potencia 0,90.

Programa de monitoreo del águila arpía

VARIABLES INDICADORAS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL VOC: Densidad máxima de nido activos en el periodo de monitoreo y ocupación.

Modelos para ajustar.

1. Se ajustarán los modelos lineales jerárquicos para determinar Maximum Packed Nest Density (MPN) method.
2. Modelos de ocupación de una temporada de una especie. Covariables de sitio y de muestreo similares al del monitoreo de jaguar.

Unidad de Muestreo, cuadrantes de 64 Km², unidad de superficie equivalente al promedio del *home range* reportado para esta especie en Venezuela (Álvarez, 1996).

Número de unidades de muestreo. Se evaluarán una matriz de detección con 50 sitios en el muestreo piloto y se ajustará a partir de detección y de la probabilidad de detección observada en campo.

Método de detección, búsqueda de nidos.

1. Búsqueda activa desde botes, carreteras, picas, senderos, así como en los transectos y vías de acceso a los sitios de monitoreo de jaguar.
2. Encuesta a los pobladores locales.
3. Detección a partir de videos de alta resolución obtenidos por drones que sobrevuelan árboles con alta probabilidad de contener nidos de águila arpía

Frecuencia de Monitoreo: revisión de nidos activos cada seis meses. Estimación de la ocupación de águila arpía cada dos años.

El costo aproximado de este programa de monitoreo es de unos 75 000 USD en equipos y 75 000 USD en implementación cada dos años (Márquez Com. Pers.).

5.2.4.4. Programa de Manejo Adaptativo para macroinvertebrados

Los macroinvertebrados bentónicos constituyen una de las comunidades más diversas y menos estudiadas de los sistemas lénticos y lóticos de la Biorregión Guayana, en buena medida por su baja importancia comercial de la mayoría de sus especies (Mora-Day y Blanco-Belmonte, 2008). Los representantes más comunes de esta comunidad son los insectos, crustáceos, hirudíneos, lombrices y moluscos, cuya longitud corporal sea mayor a 5 mm (Roldán, 1996). Estos organismos tienen una gran importancia en los cuerpos de agua no solo por la diversidad de especies y procesos ecológicos en los que participan, sino por ser uno de los principales



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



eslabones de transferencia de energía del sector de productividad primaria a otros niveles de la cadena trófica (Roldán, 1996 y Segnini *et al.*, 2003).

La mayoría de los estudios desarrollados en la Reserva Forestal Imataca se limita a inventarios preliminares (Mora-Day *et al.*, 2008) y determinaciones de los niveles de metales pesados en los tejidos de cangrejos, camarones y caracoles (Farina *et al.*, 2008). A pesar de ser un grupo ampliamente descritos como buenos indicadores de la condición ecológica de los ríos (Barbour *et al.*, 1999; Segnini, 2003 y Springer, 2010), prácticamente no se han empleado para evaluar el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos de la Reserva Forestal Imataca.

Los métodos de bioindicación se fundamentan en la sensibilidad o tolerancia que presentan las especies ante los cambios ambientales, pudiendo emplearse para determinar los cambios producidos por intervención antrópica (Segnini, 2003 y Springer, 2010). Numerosos grupos de macroinvertebrados bentónicos son extremadamente sensibles a cambios en la concentración de metales pesados, a la presencia de combustibles y lubricantes o de materia fecal en los cuerpos de agua, a cambios en la turbidez producto de alteraciones en la tasa de arrastre de sedimentos y a variaciones drásticas y permanentes del caudal de los sistemas lénticos, razón por la cual son excelentes indicadores de contaminación de mercurio, aumento de tasa de erosión por actividad minera o deforestación.

Junto a las seis (6) estrategias contempladas para mitigar y controlar las amenazas que existen sobre la cobertura vegetal de las clases de vegetación, se contemplan actividades específicas orientadas a conservar macroinvertebrados como indicadores de la condición ecológica de los ecosistemas acuáticos:

1. Control y vigilancia de la molienda y extracción de oro aunado a la prohibición de venta, posesión y uso de mercurio. Programas operativos involucrados Conservación e Investigación, Evaluación de Actividad Minera, Infraestructura y Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de centros de molienda de material aurífero y recuperación de oro bajo estándares internacionales de calidad y seguridad industrial.

2. Programa de educación sobre problemas de salud asociados al mal uso del mercurio. Programa operativo involucrado Educación Ambiental y Participación Comunitaria.

Intervención: Elaboración y puesta en funcionamiento un programa de educación sobre los problemas de salud pública asociados al uso de mercurio.

3. Mejora de calidad de vida del personal que labora en las actividades de extracción minera y forestal legal como parte de los programas de Gestión e Infraestructura.

Intervención: Construcción de instalaciones y alojamientos apropiados con manejo de agua servidas, de residuos sólidos y desechos industriales bajo estándares internacionales de calidad y seguridad industrial.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



4. Monitoreo del estado de conservación de la comunidad de macroinvertebrados y ajuste del plan de manejo adaptativo implementado para el VOC, contemplado en el programa operativo Conservación e Investigación.

Intervención: Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para el VOC.

El programa de conservación orientado a proteger la comunidad de macroinvertebrados presenta los siguientes objetivos:

- Objetivo de conservación: Mantener la integridad ecológica de los ambientes acuáticos de la Reserva Forestal Imataca.
- Objetivo de manejo: mantener la composición y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos durante los próximos 10 años dentro de la poligonal.
- Objetivo de monitoreo: poder detectar una pérdida del 20% de la composición y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados en un periodo de 10 años, dentro del área de manejo en la Reserva Forestal Imataca, con significancia 0,10 y potencia 0,90.

Programa de monitoreo

Variable indicadora del estado de conservación del VOC: la composición y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Método de estimación. Cálculo de índices de números de Hill y estimación de intervalos de confianza simétricos mediante métodos de bootstraps (Pla, 2006).

Método de colecta: La recolección de la fauna se efectúa mediante el uso de redes acuática de mano tipo "D-net", la cual permite recolectar los macroinvertebrados que se desprenden al remover el sustrato, la hojarasca y la vegetación sumergida, en el cuerpo de agua. Además, se emplean otros tipos de redes acuáticas como son, pantalla "Kicking-net", redes de deriva, redes de arrastre y salabardos, con el fin de muestrear el mayor número de microhabitats disponibles. El muestreo se efectúa en tramos de 500 m, tanto aguas arriba como aguas abajo de los sitios de actividad minera, centros poblados, áreas deforestadas en por lo menos 60 cuerpos de agua. El material colectado se preserva en alcohol al 70% y depositado en las colecciones y Museos de Ciencias Naturales del país.

El equipo de trabajo requiere de personal profesional y entrenado, para el trabajo de campo, la identificación de la fauna, así como para el cálculo, análisis y recomendaciones finales.

Frecuencia de Monitoreo: Anual.

Análisis de datos: Se compararán los números de Hill a partir de una prueba de hipótesis de estimación por intervalo para un nivel de confianza propuesto en los objetivos de monitoreo.

El esfuerzo de muestreo necesario para alcanzar la potencia estadística deseada se estimará mediante métodos de simulación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



El costo aproximado de programas de monitoreo similares a este desarrollados en Colombia es de unos 100 000 USD en equipos y 150 000 USD en implementación por año. (Márquez Com. Pers.)

5.2.4.5. Programa de Manejo Adaptativo para la Ictiofauna

La ictiofauna de la Reserva Forestal Imataca es muy diversa y se encuentra relativamente poco estudiada. Los únicos estudios ictiológicos publicados en la región son los de Mago (1970), Machado-Allison *et al.* (2000) y Lasso *et al.* (2004) que abordan algunos aspectos sobre el impacto de la minería, biodiversidad, biogeografía y ecología de la ictiofauna, además de estudios puntuales en los que se evalúa la contaminación mercurial en la cuenca (Nico y Taphorn, 1994). Por otra parte, existen algunos trabajos puntuales de consulta restringida, realizados por compañías mineras, que aportan algunos datos ecológicos, principalmente referentes a la estructura comunitaria y contaminación mercurial.

A pesar de la importancia geopolítica de la Reserva y de presentar una alta explotación de oro y diamantes, ha recibido poca atención desde el punto de vista biológico (Lasso *et al.*, 2009). La actividad minera y de explotación forestal han generado una profunda alteración de los bosques de la cuenca del Cuyuni, así como de su calidad del agua, que no ha sido debidamente evaluada ni se han puesto en marcha los correctivos pertinentes.

La actividad minera en la región es la principal amenaza a la ictiofauna pues aporta volúmenes extremadamente altos de sedimentos a los cauces de agua convirtiendo los ríos de aguas típicamente negras en ríos de aguas blancas, lo cual cambia totalmente la dinámica limnológica del río y por ende las comunidades de peces (Machado-Allison, *et al.* 2000). Por otra parte, esta actividad modifica sustancialmente la calidad del agua del río Cuyuni y algunos afluentes importantes, como el Junin. Asimismo, han afectado los ecosistemas boscosos circundantes y esta actividad sigue aumentando de manera alarmante. El aporte de metales pesados como el mercurio afecta diferentes niveles de la cadena trófica, pero es especialmente alarmante en los niveles superiores donde tiende a acumularse este metal y genera problemas de salud pública al ser consumida por los pobladores locales. La modificación de cauces de pequeños ríos, los cuales llegan eventualmente a ser secados por la actividad minera es otro grave problema que enfrentan las comunidades de peces de la Reserva. Todas estas amenazas provocan una pérdida significativa de la diversidad de peces y alteran la dinámica limnológica de sistemas lóticos y lénticos de la Reserva.

Una amenaza producto del aumento de la densidad poblacional, la creación de pueblos y caserío dentro de la Reserva es el aumento de la presión de pesca.

Aparte de las seis (6) estrategias contempladas para mitigar y controlar las amenazas que existen sobre la cobertura vegetal de las clases de vegetación, y de las acciones de manejo propuestas en el programa de manejo adaptativo de macroinvertebrados se contemplan actividades específicas orientadas a conservar la ictiofauna. Entre ellas:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



1. Control de caudales de agua extraído para actividades mineras. Esta actividad se encuentra enmarcada en los programas operativos de Gestión, Evaluación de Actividad Minera y el de Conservación e Investigación.

Intervención: Estimación de caudales ecológicos, establecimiento e implementación de cuotas de extracción de agua monitoreadas por programas de vigilancia y control.

2. Control de efluentes de las concesiones mineras y forestales. Esta actividad se encuentra enmarcada en los programas operativos de Evaluación de Actividad Minera y el de Conservación e Investigación.

Intervención: Diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento en las concesiones mineras, e implementación de un programa de monitoreo de aguas servidas.

3. Monitoreo de mercurio en tejidos de peces de interés comercial en las principales cuencas de la Reserva. Esta actividad se encuentra enmarcada en los programas operativos de Evaluación de Actividad Minera y el de Conservación e Investigación.

Intervención: Diseño e implementación de un programa de monitoreo de mercurio en tejidos de peces de interés comercial en la Reserva.

4. Monitoreo del estado de conservación de la comunidad de peces y ajuste del plan de manejo adaptativo implementado para el VOC, contemplado en el programa operativo Conservación e Investigación.

Intervención: Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para el VOC.

El programa de conservación orientado a proteger la ictiofauna presenta los siguientes objetivos:

- Objetivo de conservación: Mantener la diversidad de peces en el área bajo manejo propuesta en el programa piloto de conservación de la Reserva Forestal Imataca.
- Objetivo de manejo: mantener la composición y diversidad de la comunidad de peces durante los próximos 10 años dentro de la poligonal.
- Objetivo de monitoreo: poder detectar una pérdida del 20% de la composición y diversidad de la comunidad de peces, en un periodo de 10 años, dentro de la poligonal, con significancia 0,10 y potencia 0,90.

Programa de monitoreo

Variable indicadora del estado de conservación del VOC: El monitoreo de la ictiofauna es ampliamente utilizado en programas de conservación ambiental (Barbour *et al.*, 1999), siendo la composición, diversidad de la comunidad y el estado de salud de los peces, buenos indicadores de la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos.

Método de estimación. Cálculo de índices de números de Hill y estimación de intervalos de confianza simétricos mediante métodos de bootstraps.

Método de colecta: De acuerdo con el hábitat muestreado se deben emplear artes de pesca activos o pasivos.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Como parte de los métodos activos se emplean redes de playa, atarrayas, redes de mano y pesca con caña y carretes. Se sugiere el uso de redes de playa de 17 x 1,5 m (5 mm entrenado) y de 2,3 x 0,75 m (1 mm entrenado); atarrayas de 2 a 5 m diámetro (5 mm entrenado) y redes de mano, de diámetro del aro y de longitud variable (1 a 5 mm entrenado). En los métodos pasivos se sugiere emplear redes de ahorque (gill net) de monofilamento 20 x 3 m (2,5 cm) y de 20 x 2 m (3,5 cm) y de multifilamento: 20 x 3 m (7 cm); de 20 x 2,5 m (3 cm) y 15 x 2,5 m (2,5 cm).

Los peces colectados deben fijarse en formol al 10%. En caso de necesitar realizar determinaciones de concentración de mercurio, los tejidos extraídos serán congelados y llevados al laboratorio. Se requiere un registro fotográfico de los peces recién capturados o, en lo posible en vida (acuario), con el objeto de tener información sobre patrones de coloración.

Trabajo de laboratorio: Una vez en el laboratorio las muestras deben ser lavadas y transferidas a alcohol al 70% para su conservación permanente. Luego de la identificación preliminar de las muestras las muestras deben ser depositadas en las colecciones y Museos de Ciencias Naturales del país.

Frecuencia de Monitoreo: Anual.

Análisis de datos: Se compararán los números de Hill a partir de una prueba de hipótesis de estimación por intervalo para un nivel de confianza propuesto en los objetivos de monitoreo. Esfuerzo de muestreo, no menos de 60 localidades. Sin embargo, este número se debe ajustar para tener la precisión y exactitud deseada a partir de los datos generados en estudios pilotos. Por otra parte, el esfuerzo dependerá de los modelos lineales que se deseen ajustar para dar seguimiento al plan de manejo adaptativo propuesto.

El costo aproximado de este programa de monitoreo es de unos 100 000 USD en equipos y 150 000 USD en implementación por año (Márquez com. Pers.)

5.2.5. Costos Estimados de los Programas de Manejo Adaptativo Propuestos

El programa de conservación propuesto para la poligonal de 8 707 Km², como parte de un plan maestro que pretende mantener la biodiversidad de la Reserva Forestal Imataca requiere de una inversión inicial de 15 850 000 USD, con un costo de funcionamiento para el primer año de 8 750 000 USD (Tabla 13.23). En el segundo y el cuarto año se requieren 8 475 000 USD; mientras que en el tercer y quinto año se necesitan 8 650 000 USD.

Tabla 13.23. *Costos de las intervenciones contempladas en los programas conservación de la biodiversidad de la RFI*



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



INVERSIÓN	
Infraestructura y materiales	Tiempo Inicial
Centro administrativo	350 000
Centro de Investigación	2 000 000
Banco de germoplasma	1 000 000
Cinco viveros	1 000 000
Cinco puestos de vigilancia y control	2 500 000
Brigadas de bomberos forestales	7 500 000
Centro de molienda de mineral aurífero y extracción de oro	1 000 000
Instalaciones y alojamiento apropiado con manejo de agua servida, de residuos sólidos y desechos industriales bajo estándares internacionales de calidad y seguridad industrial	Por definir
Material e insumo para monitoreo	500 000
Sub-total	15 850 000

Tabla 13.24. Costos de funcionamiento y mantenimiento de las intervenciones contempladas en los programas conservación de la biodiversidad de la RFI



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



FUNCIONAMIENTO					
Actividades de Operación	Inicial	1 año	2 año	3 año	4 año
Elaboración e implementación programa de vigilancia y control de las concesiones forestales	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000
Elaboración e implementación programa de vigilancia y control de las concesiones minera y erradicación de la minería ilegal	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000
Producción y siembra de un millón de plantas al año	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
Conservación de suelos en concesiones mineras	Por definir				
Recuperación de suelos perdidos y degradados en la Reserva	Por definir				
Implementación del programa de control y prevención de incendios forestales	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
Implementación de programa de educación ambiental orientados a la conservación de los cinco VOC	450 000	450 000	450 000	450 000	450 000
Conceptualización, planificación, implementación, análisis, uso y ajuste del plan de manejo adaptativo propuesto para los cinco VOC	2 250 000	2 250 000	2 250 000	2 250 000	2 250 000
Actualizar programas de manejo de concesiones para garantizar conectividad de áreas boscosas	100 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Elaboración e implementación programa de vigilancia y control de cacería y eliminación de cacería comercial y deportiva	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Planificación e implementación de áreas protegidas alrededor de nidos de águila arpía	100 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Diseño, implementación y seguimiento de los programas ecoturísticos que involucran el águila arpía	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Diseño, implementación y seguimiento de los programas ecoturísticos que involucran el águila arpa	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Operación de los centros de molienda de mineral aurífero y extracción de oro	250 000	250 000	250 000	250 000	250 000
Establecimiento de caudales ecológicos y cuotas de extracción de agua	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento de efluentes en concesiones mineras	Por definir				
Monitoreo de efluentes de concesiones mineras	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Monitoreo de mercurio en tejido de peces de interés comercial	250 000	250 000	250 000	250 000	250 000
Gastos operativos para monitoreo de clases de vegetación	75 000	75 000	75 000	75 000	75 000
Gastos operativos para monitoreo de jaguar	100 000	0	100 000	0	100 000
Gastos operativos para monitoreo de águila arpía	75 000	0	75 000	0	75 000
Gastos operativos para monitoreo de macroinvertebrados	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000
Gastos operativos para monitoreo de peces	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000
Sub-total	8 750 000	8 475 000	8 650 000	8 475 000	8 650 000



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Mantenimiento	Inicial	1 año	2 año	3 año	4 año
Centro administrativo		35 000	35 000	35 000	35 000
Centro de Investigación		200 000	200 000	200 000	200 000
Banco de germoplasma		100 000	100 000	100 000	100 000
Cinco viveros		100 000	100 000	100 000	100 000
Cinco puestos de vigilancia y control		250 000	250 000	250 000	250 000
Brigadas de bomberos forestales		2 250 000	2 250 000	2 250 000	2 250 000
Material e insumo para monitoreo		150 000	150 000	150 000	150 000
Sub-total		3 085 000	3 085 000	3 085 000	3 085 000
Total	24 600 000	11 560 000	11 735 000	11 560 000	11 735 000

5.2.6. Valoración económica de la biodiversidad de la RFI

Usando como base la Tabla 13.23, se calculó el valor de la biodiversidad de la RFI en USD/ha, asumiendo (supuesto muy grande) que se comportará igual para otras superficies de la Reserva. La Tabla 13.25 presenta esos cálculos.

Se puede observar que el costo del Programa Adaptativo para los cinco Valores Objeto de Conservación es 22,67 USD/ha. Este puede ser asumido como el valor económico de la conservación de la biodiversidad en la RFI.

En el anexo 13.2 de este apartado se presentan la hoja de Excel con los respectivos cálculos.

Tabla 13.25. Valoración económica de la conservación de la biodiversidad en la RFI

Valoración Biodiversidad. Costos de Programas de Manejo Adaptativo Cálculo VPC, CAE y CAE por superficie					
Tasa Anual	12%				
Años	0	1	2	3	4
Total	24 600 000	11 560 000	11 735 000	11 560 000	11 735 000
VPC año 1	35 362 483,04				
VPC	59 962 483,04				
CAE	-19 741 714,30				
CAE corregido	19 741 714,30				
Superficie (ha)	870 700,00				
CAE/superficie	22,67				



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El Bosque Siempreverde Húmedo Tropical es la unidad dominante de vegetación de la RFI, cubriendo un 69% del área total de la Reserva, seguido del Bosque Siempreverde estacional (12%) y del Bosque de Pantano (15%). El resto de las unidades vegetales comprende el 4% del área total.
- El Bosque Siempreverde Húmedo Tropical se distribuye en toda la zona central y sur de la RFI, mientras que el Bosque Siempreverde Estacional se encuentra en la zona noroeste y el Bosque de Pantano ocupa la zona noreste de la Reserva. Los Manglares están confinados en la zona costera de la Reserva y el resto de unidades se encuentran marginadas a la zona norte del Bosque Siempreverde Estacional.
- A partir de recientes levantamientos florísticos locales de vegetación se ha determinado una riqueza de especies vegetales en la Reserva Forestal Imataca de 856 especies, pertenecientes a 134 familias.
- La RFI presenta un buen estado de vegetación. Sin embargo, la deforestación se ha incrementado paulatinamente en la zona sur de la Reserva.
- La principal amenaza para la biodiversidad de la RFI es la actividad minera.
- Existen 13 especies vegetales amenazadas en la RFI.
- Desde el punto de vista de fauna, en la Reserva Forestal Imataca están presentes dos especies en peligro, el cuspón, *Priodontes maximus*, y el perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. Adicionalmente, se encuentran en una condición Vulnerable el águila harpia, *Harpia harpyja*, el oso palmero, *Myrmecophaga tridactyla*, el perro de monte, *Speothos venaticus*, el cunaguaro, *Leopardus pardalis*, el margay, *Leopardus wiedii*, el tigrillo, *Leopardus tigrinus*, el Jaguar, *Panthera onca* y la danta, *Tapirus terrestris*.
- El valor de conservación de la RFI es 22,67 USD. Con las reservas del caso, éste puede ser asumido como el valor para toda la Reserva.

6.2. Recomendaciones

- Llevar adelante el programa de Manejo Adaptativo propuesto.
- Continuar con el levantamiento de especies florísticas y faunísticas de la RFI.
- Para mejorar la estimación del valor de conservación de la diversidad biológica se requiere implementar de manera inmediata programas de monitoreo piloto que permitan conocer el estado actual de las poblaciones y comunidades propuestas como valores objeto de conservación.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Asimismo, estimar los costos de Instalaciones y alojamiento apropiado con manejo de agua servida, de residuos sólidos y desechos industriales bajo estándares internacionales de calidad y seguridad industrial. Conservación de suelos en concesiones mineras. Recuperación de suelos perdidos y degradados en la Reserva y diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento de efluentes en concesiones mineras

7. Bibliografía

Aguilera, M., Azócar, A. y González, J.E. 2003. *Biodiversidad en Venezuela, Tomo 2*. Fundación Polar, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT), Caracas.

Álvarez-Cordero. E. 1996. *Biology and conservation of the Harpy Eagle in Venezuela and Panama*. (Ph.D Thesis), University of Florida, Gainesville, Florida.

Aymard, G.A., Bevilacqua, M. y Cárdenas, L. 2011. *Análisis fitogeográfico de la flora vascular de la cuenca del río Caura, estado Bolívar, Venezuela*. BioLlania Edición Esp. 10:264-280.

Barrio-Amoros., C.L. 1998. *Sistemática y distribución geográfica de los anfibios (Amphibia) de Venezuela*. Acta Biológica Venezolana, 18(2):1-93.

Barrio-Amoros, C.L. 2004. *Amphibians of Venezuela systematic list, distribution and references, an update*. Revista de Ecología Latino Americana, 9(3): 1-48.

Berroterán, J.L. 2003. *Bases técnicas para el ordenamiento territorial de la Reserva Forestal Imataca*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Fundación UCV- Facultad de Ciencias. 283 pp.

Chuvieco S.E. 2006. *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Editorial Ariel, S. A, Barcelona, España, 586 pp.

Díaz W.A. 2007. *Inventario preliminar de plantas útiles de bosques remanentes en las delicias y el Guamo, Serranía de Imataca, estado Bolívar, Venezuela*. Acta Botanica Venezolana 30 (2): 327-344.

Díaz P., Rueda, W.A., Acosta, J., Martínez, O. y Castellanos, H. 2010. *Composición florística del bosque ribereño del río San José, Reserva Forestal de Imataca, estado Bolívar, Venezuela*. Acta Botanica Venezolana 33 (1): 1-21.

Díaz P., W.A. y Díaz, Y. 2014. *Caracterización florística y estructural de los bosques de la Unidad de manejo forestal Imataca V, Unidad de producción Santa María I, Reserva Forestal Imataca, Municipio Sifontes, estado Bolívar, Venezuela*. (Enviado para publicación a Acta Botanica Venezolana).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Duellman, W.E. 1997. *Amphibians of La Escalera Region, Southeastern Venezuela: Taxonomy, Ecology, and Biogeography*. Scientific Papers, Natural History Museum, The University of Kansas, 2: 1-52.

ESA. 2019. Agencia Espacial Europea. *ESA Sentinel Online*. (Disponible en: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/sentinel-data-access;jsessionid=5386D9353D702E90E0ACD872327BA5DE.jvm2>). Acceso: 25 de marzo al 13 de mayo de 2019.

FAO. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección General del Recurso Forestal. Instituto Forestal Latinoamericano. 2001. *Recursos Forestales y Cambio en el Uso de la Tierra Venezuela. Proyecto Información y Análisis para el Manejo Forestal Sostenible: Integrando Esfuerzos Nacionales e Internacionales en 13 Países Tropicales en América Latina* (Gcp/Rla/133/Ec). Santiago de Chile. (Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/proyecto/rla133ec/RfYcUT-pdf/Rf%20y%20CUT%20-%20Venezuela.PDF). Acceso: agosto de 2019.

Farina, O, Pisapia, D., González, M. y Lasso, C.A. 2008. *Evaluación de la contaminación por mercurio en la biota acuática, aguas y sedimentos de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela*. En: Lasso, C.A, Señaris, J.C., Rial, A. y Flores, A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55: 74-88.

Fernández, Á. Gonto, R., Holst, B.K. y Rial, A. 2013. *Flora y Vegetación de los Ecosistemas Acuáticos y Terrestres de la Cuenca Alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela*. En: (Coords.) Lasso, C.A, Señaris, J.C., Rial, A. y Flores, A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55:47-59.

Fierro-Calderón, E., Gutiérrez-Chacón, C., Caro, L., Ramírez-Mosquera, D., Parrar, J., Zamudio, J.A. y Saavedra, C. 2018. *Plan de manejo para la Pava Caucana (Penelope perspicax Bangs 1911)*. Asociación Calidris and Wildlife Conservation Society.

Figuroa, J.R. 2006. *Valoración de los productos forestales no maderables (PFNMs) en la Reserva forestal Imataca, bajo el enfoque de la economía ecológica: caso de estudio cuenca alta del río Botanamo, Estado de Bolívar. Venezuela*. (Tesis doctoral). Servicio de publicaciones de la Universidad de la Laguna. España. 323 pp.

Figuroa, J.R. y Castilla, C. 2006. *Valoración de árboles con usos medicinales en la Reserva Forestal Imataca (Caso: Cuenca alta del Río Botanamo)*. I Congreso Internacional de Biodiversidad del escudo Guayanés. Libro de resúmenes. Santa Elena de Uairén.

Giraldo, A., Lasso, C., Zamudio, H. y Hernández-Acevedo, J. 2006. *Nuevas adiciones a la ictiofauna de la cuenca del río Cuyuní en Venezuela*. Memoria Fundación La Salle Ciencias Naturales 166: 151-154.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



González V. 2011. *Los Bosques del Delta del Orinoco*. En: (Ed.) Aymar, G.A. *Bosques de Venezuela*. Revista del BioCentro de la UNELLEZ del Vicerrectorado de Producción Agrícola Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora UNELLEZ. BioLlania. No. 10:197-240.

Gorzula, S. y Señaris, J.C. 1999 ["1998"]. *Contribution to the herpetofauna of the Venezuelan Guayana I. A data base*. Scientia Guaianae 8: xviii+270+32pp.

Guanire N., Aranguren B. y González Nández, O. 2010. *Etnobotánica medicinal de los indígenas Warao de Tucupita y de la isla de Araguabisi en el estado Delta Amacuro, Venezuela*. Boletín Antropológico. Año 28, N° 79, pp. 139-158.

Handley, C. 1976. *Mammals of the Smithsonian Venezuelan Project*. Brigham Young University Science Bulletin, Biological Series, 20(5):1-91.

Hernández P., C.J. y Lozada, J.R. 2017. *Especies de lianas de la zona central de la Reserva Forestal Imataca, estado Bolívar, Venezuela*. Pittieria 41: 102-133.

Hilty, S. 2003. *Birds of Venezuela*. Princeton University Press. New Jersey. 878 pp.

Huber, O. y Alarcón, C. 1988. *Mapa de la Vegetación de Venezuela*. En: (Coords.) Szeplaki, E; García, L; Rodríguez, J y González, E. *Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica y su Plan de Acción*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Caracas, 135 pp.

Isasi-Catalá, E. 2011. *Los conceptos de especies indicadoras, Paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación*. Interciencia, 36 (1): 31-38

Isasi-Catalá, E. 2012. *Estudio del estado de conservación del jaguar (Panthera onca) en el Parque Nacional Guatopo*. (Tesis Doctoral). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela.

IUCN. 2014. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3*. (Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>)

Jedrzejewski, W., Abarca-Medina, M.R., Boede, E.O., Hoogesteijn, R., Isasi-Catalá, E., Carreño, R., Vilorio, A.L., Cerda, H., Lew, D., González-Fernández, A.J., Perera, L. y Puerto Carrillo, M.F. 2015. *Jaguar, Panthera onca*. En: J.P. Rodríguez, García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela. (Disponible en: animalesamenazados.provita.org.ve/content/jaguar-0 Mar). Acceso 16 de julio de 2019,

Koford, C.B. 1976. *Latin American cats: economic values and future prospects*, Proc. Third Internat. Symp. World's Cats, 3(1):79-88.

Lasso, C.A., Lew, D., Taphorn, D., DoNascimento, C., Lasso-Alcala, O., Provenzano, F. y Machado-Allison, A. 2004 ("2003"). *Biodiversidad Ictiológica Continental de Venezuela. Parte I: Lista de especies y distribución por cuencas*. Memoria Fundación La Salle Ciencias Naturales 159-169: 105-196.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Lasso, C.A, Señaris, J.C, Rial, A. y Flores, A.L. 2009. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55. 235 pp.

Lasso, C.A., Usma, J.S., Trujillo, F. y Rial, A. 2010. *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia), Bogotá, D.C. 609 pp.

Lentino, M., Salcedo, M. y Ascanio, D. 2009. *Aves de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar: Resultados del RAP Alto Cuyuní*. En: Lasso, C.A, Señaris, J.C., Rial, A. y Flores, A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55: 120-126.

Linares, O. J. 1998. *Mamíferos de Venezuela*. Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela, Caracas. 691 pp.

Lindenmayer, D.B. y Likens, G.E. 2009. *Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring*. Trends in Ecology and Evolution Vol. 24 No. 9.

Llamoza, S., Duno de S., R, Meier, W., Riina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O. y Ortiz, R. 2003. *Libro rojo de la flora venezolana*. PROVITA Fundación Polar. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Dr. Tobías Lasser, Caracas, 549 pp.

Lozada, J., Guevara, J., Soriano, P. y Costa, M. 2007. *Bosques de Colinas y Lomas, en la Zona Central de la Reserva Forestal Imataca, Venezuela*. Revista Forestal Latinoamericana N° 42/105-131.

Lozada, L., Guevara, J.R., Hernández, C., Soriano, P. y Costa, M. 2011. *Los bosques de la zona central de la Reserva Forestal Imataca, Estado Bolívar, Venezuela*. BioLlania Edición Esp. 10:47-62.

Machado-Allison, A., Chernoff, B., Royero-León, R., Mago-Leccia, F., Velazquez, J., Lasso, C., López-Rojas, H., Bonilla-Rivero, A., Provenzano, F. y Silvera, C. 2000. *Ictiofauna de la cuenca del río Cuyuní en Venezuela*. Interciencia 25 (1): 13-21.

Mago, F. 1970. *Lista de los peces de Venezuela, incluyendo un estudio preliminar sobre la ictiogeografía del país*. Ministerio de Agricultura y Cria – Oficina Nacional de Pesca. Caracas, Venezuela. 283 p.

MARN. 2001. *Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica y su Plan de Acción*. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y de los Recursos Naturales, Oficina Nacional de Diversidad Biológica. Caracas, Venezuela. 135 pp.

Márquez C., Bechard M., Gast F., Vanegas, V.H. 2005. *Aves rapaces diurnas de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. - Colombia. 394 pp.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Márquez, R., Bianchi, G., Isasi-Catalá, E., Ruiz Gutiérrez, V. y Goldstein, I. 2017. *Guía para el Monitoreo de la Ocupación de Oso Andino*. Andean Bear Conservation Alliance and Wildlife Conservation. 56 pp.
- Mason, D. 1996. *Responses of Venezuelan understory birds to selective logging, enrichment strips, and vine cutting*. *Biotropica* 28(3). 296-309.
- McNeely, J.A, Miller, K.R, Reid, W.V, Mittermeier, R.A, Werner, T.B. (Eds.) 1990. *Conserving the world's biological diversity*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, World Resources Institute, Conservation International, World Wildlife Fund-US, and the World Bank. Gland (Suiza) and Washington DC (USA). 193 pp.
- Meneses-Tovar, C.L. 2011. *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. *Unasyva* 238, Vol. 62, No. 2.
- Mittermeier, R.A, Robles, G.P. y Goettsch, M.C. 1997. *Megadiversidad: Los países biológicamente más ricos del mundo*. Cemex y Agrupación Sierra Madre. S.C. México. 501 pp.
- Molina, C., Señaris, J.C., Lampo, M. y Rial, A. (Eds.). 2009. *Anfibios de Venezuela. Estado del conocimiento y recomendaciones para su conservación*. International Conservation, Fundación La Salle, IVIC. 125 pp.
- Mora-Day, J., Magalhães, C., El Souki, M. y Blanco-Belmonte, L. 2008. *Macroinvertebrados acuáticos de los ríos Cuyuní y Uey, cuenca del Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela*. En: (Coords.) Lasso, C.A, Señaris, J.C., Rial, A. y Flores, A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55: 89-105
- Nichols, J.D. y Williams, B.K. 2006. *Monitoring for conservation*. *TRENDS in Ecology and Evolution* Vol. 21 No. 12.
- Nico, L.G. y Taphorn, D. 1994. *Mercury in fish from gold-mining regions in the upper Cuyuní river system, Venezuela*. *Fresenius Environmental Bulletin* 3: 287-292.
- Ochoa G., J. 1995. *Los mamíferos de la región de Imataca, Venezuela*. *Acta Científica Venezolana*, 46: 274-287.
- Ochoa G., J. 2000. *Efectos de la Extracción de Maderas sobre la Diversidad de Mamíferos Pequeños en Bosques de Tierras Bajas de la Guayana Venezolana*. *Biotropica* 32(1): 146-164.
- Ochoa G., J., García, F., Caura, S. y Sánchez H., J. 2009. *Mamíferos de la cuenca del río Caura, Venezuela: listado taxonómico y distribución conocida*. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 170: 5-80.
- Ojasti, J. 1993. *Utilización de la fauna silvestre en América Latina. Situación y perspectivas para un manejo sostenible*. Guías FAO: Conservación, (Roma) 25. 248 pp.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Pefaur, J.E., y Rivero, J.A. 2000. *Distribution, species richness, endemism, and conservation of Venezuelan amphibians and reptiles*. *Amphibian and Reptile Conservation*, 2(2):42-70.

Phelps, W.H.Jr. y Meyer de Schauensee, R. 1994. *Una guía de las Aves de Venezuela*. 2ª. Ed. ExLibris. Caracas. 498 p.

Pisapia, D., Mora, A., Farina, O., Lasso, C.A., Jaffe, R. y Briceño, H.O. 2008. *Geoquímica de los ecosistemas acuáticos de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela*. En: Lasso, C.A., Señaris, J.C., Rial, A. y Flores, A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*, Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55: 60-73.

Pla, L. 2006. *Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza Interciencia*, 31(8): 583-590.

Rabinowitz, A.R. y Zeller, K.A. 2010. *A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, Panthera onca*. *Biological Conservation* 143(4): 939-945.

Rivero, J.A., 1971. *Notas sobre los anfibios de Venezuela I. Sobre los hylidos de la Guayana Venezolana*. *Carib.J. Sci.*, 2 (3-4): 181-193.

Rodríguez A.R. 1999. *Conservación de humedales en Venezuela: Inventario, diagnóstico ambiental y estrategia*. Comité venezolano de la UICN, Caracas, Venezuela. 110 pp.

Rodríguez, J. y Rojas-Suarez, F. 2008. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. 3ª Edición. PROVITA y Shell Venezuela, S.A. Caracas. 364 pp.

Rodríguez, J.P., Rojas-Suárez, F. y Hernández, D.G. 2010. *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Primera edición. Provita, Shell Venezuela, Lenovo Venezuela, Caracas, 324 pp.

Roldán, G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Impreandes Presencia S. P., Fondo FEN, Colciencias, Universidad de Antioquia, Bogotá, Colombia.

Romero, R. 2016. *Bioevaluación de los ríos de páramo en la cuenca alta del río Chama en la cordillera de Mérida, Venezuela*. (Trabajo de grado de Maestría en Ecología Tropical). Universidad de Los Andes. Mérida. 149 pp.

Roncancio-Duque, N.J. y Vélez Vanegas, L.A. 2019. *Valores objeto de conservación del subsistema de áreas protegidas de los Andes occidentales, Colombia*. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 43(166):52-64.

Segnini, S. 2003. *El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente*. *Ecotrópicos*. 16(2):45-63.

Señaris J.C., Rojas-Runjaic, F.J.M. y Barrio-Amorós, C.L. 2009. *Anfibios y reptiles de la cuenca alta del río Cuyuní*. En: Lasso, C.A, Señaris, J.C., Rial, A. y Flores. A.L. *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Conservation International Center for Applied Biodiversity Science. Boletín RAP Evaluación Biológica No. 55: 120-126.

Seymour, K.L. 1989. *Phantera onca*. Mammalian Species, No. 340: 1-9.

Sharpe, C. J., Ascanio, D. y Rojas-Suárez, F. 2015. *Águila arpía, Harpia harpyja*. En: Rodríguez, J.P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela. (Disponible en: animalesamenazados.provita.org.ve/content/aguila-arpia). Acceso: 21 de agosto de 2019.

Szeplaki O., E., García R., L.B., Rodríguez G., J.C. y González J., E. 2001. *Estrategia nacional sobre biodiversidad biológica y su plan de acción*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Caracas, 135 pp.

UCV. 2000. *Levantamiento de información básica existente sobre suelo y fauna en la Reserva Forestal de Imataca*. G. Villarroel (Ed.) Caracas.

ULA. Consejo Universitario. 2017. *Remitido la Universidad de Los Andes ante el Decreto de Creación del Arco Minero del Orinoco*, 09 de octubre de 2017.

Vargas G., J.J., Whitacre, D., Mosquera, R., Albuquerque, J., Piana, R., Thiollay, J.M., Márquez, C., Sánchez, J.E., Lezama-López, M., Midence, S., Matola, S., Aguilar, S., Rettig, N. y Sanaiotti, T. 2006. *Estado y distribución actual del águila arpía (Harpia harpyja) en Centro y Sur América*. Ornitología Neotropical 17: 39–55, 2006

Westgate, M.J., Likens, G.E. y Lindenmayer, D.B. 2013. *Adaptive management of biological systems: A review*. Biological Conservation 158:128–139

Wilson, D. y Reeder, D. 2005. *Mammals species of the world: a taxonomic and geographic reference*. 3rd edition, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 2142 pp.

Zamudio, J.A., Zuluaga, S., Restrepo, J.S., Campbell, E., Fierro-Calderón, E. y Ramírez-Mosquera, D. 2018. *Plan de manejo del Águila Crestada (Spizaetus isidori Des Murs, 1845)*. Asociación Calidris, Proyecto Águila Crestada y Fundación Águilas de Los Andes.

Anexo 13.1

Lista de especies vegetales reportadas para la RFI en estudios realizados a partir de 2007.

Citas: 1: Lozada *et al.*, 2007; 2: Díaz *et al.*, 2010; 3: Lozada *et al.*, 2011; 4: Fernández *et al.*, 2013; 5: Díaz y Díaz, 2014; 6: Hernández y Lozada, 2017; 7: Lozada *et al.*, 2017.

Familia	Especie	Cita
ACANTHACEAE	<i>Bravaisia integerrima</i>	1,3
ACANTHACEAE	<i>Justicia comata</i> (L.) Lam.	4
AMARANTHACEAE	<i>Achyranthes</i> sp	4
AMARANTHACEAE	<i>Cyathula prostrata</i> (L.) Blume	4
ANACARDIACEAE	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	4
ANACARDIACEAE	<i>Astronium lecointei</i>	1
ANACARDIACEAE	<i>Astronium ulei</i> Mattick	4
ANACARDIACEAE	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	5
ANACARDIACEAE	<i>Loxopterygium sagotii</i> Hook, f.	5
ANACARDIACEAE	<i>Spondias mombin</i> L.	2,3
ANACARDIACEAE	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	4
ANNONACEAE	<i>Anaxagorea dolichocarpa</i> Sprague y Sandw.	4
ANNONACEAE	<i>Anaxagorea</i> sp.1	5
ANNONACEAE	<i>Anaxagorea</i> sp.2	5
ANNONACEAE	<i>Anaxagorea</i> sp.3	4
ANNONACEAE	<i>Annona</i> aff. <i>sericea</i> Dunal	4
ANNONACEAE	<i>Duguetia calycina</i> Benoist	2
ANNONACEAE	<i>Duguetia cauliflora</i> R.E. Fr.	4
ANNONACEAE	<i>Duguetia pycnastera</i> Sandw.	1,3,4
ANNONACEAE	<i>Duguetia</i> sp.	4
ANNONACEAE	<i>Duguetia megalophylla</i> R.E. Fr.	5
ANNONACEAE	<i>Duguetia pycnastera</i> Sandw.	5
ANNONACEAE	<i>Guatteria</i> sp.	4
ANNONACEAE	<i>Rollinia exsucca</i> (Dun.) A.DC.	4
ANNONACEAE	<i>Rollinia fendleri</i>	1,3
ANNONACEAE	<i>Unonopsis glaucopetala</i>	1,3
ANNONACEAE	<i>Xylopia nitida</i> Dunal	5
APOCYNACEAE	<i>Allamanda cathartica</i> L.	4
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma excelsum</i>	1

Familia	Especie	Cita
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma excelsum</i> Benth.	4
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma marcgravianum</i> Woodson	2,4
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma</i> sp.	2
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma album</i> (Vahl) Benth.	1,3,5
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma cruentum</i> Woodson	5
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma marcgravianum</i> Woodson	3,5
APOCYNACEAE	<i>Couma macrocarpa</i> Barb. Rodr.	4
APOCYNACEAE	<i>Forsteronia gracilis</i>	1,6
APOCYNACEAE	<i>Forsteronia guyanensis</i>	1,3,6
APOCYNACEAE	<i>Forsteronia</i> sp.1	5
APOCYNACEAE	<i>Forsteronia</i> sp.2	5
APOCYNACEAE	<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	1,4
APOCYNACEAE	<i>Mandevilla subspicata</i> (Vahl) Markgraff	4
APOCYNACEAE	<i>Odontadenia macrantha</i> (Roem. & Schult.) Markgr.	4
APOCYNACEAE	<i>Odontadenia nitida</i> (Vahl) M.Arg.	4
APOCYNACEAE	<i>Stemmadenia grandiflora</i> (Jacq.) Miers	2
APOCYNACEAE	<i>Tabernaemontana cymosa</i>	1,3
APOCYNACEAE	<i>Tabernamontana</i> sp. 1	5
APOCYNACEAE	<i>Tabernamontana</i> sp. 2	5
AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex</i> sp	4
ARACEAE	<i>Anthurium clavigerum</i> Poepp.	4
ARACEAE	<i>Anthurium gracile</i> (Rudge) Schott	4
ARACEAE	<i>Anthurium</i> sp. 1	4
ARACEAE	<i>Anthurium trinerve</i> Miq.	4
ARACEAE	<i>Anthurium</i> sp. 2	5
ARACEAE	<i>Heteropsis flexuosa</i> (H.B.K.) G.S. Bunting	1,4,6
ARACEAE	<i>Monstera</i> sp	4
ARACEAE	<i>Philodendron acutatum</i>	1,3
ARACEAE	<i>Philodendron megalophyllum</i> Schott	4
ARACEAE	<i>Philodendron samayense</i> G.S.Bunting	2
ARACEAE	<i>Philodendron</i> sp. 1	1,3
ARACEAE	<i>Philodendron</i> sp. 2	4
ARACEAE	<i>Spathiphyllum cannifolium</i> (Dryand.) Schott	4
ARACEAE	<i>Urospatha sagittifolia</i> (Rudge) Schott	4
ARACEAE	<i>Xanthosoma</i> sp	4
ARALIACEAE	<i>Dendropanax arboreum</i>	1

Familia	Especie	Cita
ARALIACEAE	<i>Oreopanax capitatus (Jacq.) Decne. & Planch.</i>	4
ARALIACEAE	<i>Schefflera morototoni (Aubl.) Maguire, Steyererm. & Frodin</i>	1,4
ARECACEAE	<i>Astrocaryum gynacanthum Mart.</i>	4
ARECACEAE	<i>Astrocaryum sp.</i>	4
ARECACEAE	<i>Attalea maripa (Aubl.) Mart.</i>	2
ARECACEAE	<i>Attalea racemosa</i>	1
ARECACEAE	<i>Bactris aff. setulosa H. Karst.</i>	4
ARECACEAE	<i>Bactris maraja</i>	1,3,7
ARECACEAE	<i>Bactris moorei</i>	1,3
ARECACEAE	<i>Bactris simplicifrons Mart.</i>	4
ARECACEAE	<i>Bactris sp. 1</i>	4
ARECACEAE	<i>Bactris sp. 2</i>	2,5
ARECACEAE	<i>Bactris simplicifrons Mart.</i>	5
ARECACEAE	<i>Desmoncus orthacanthos</i>	1,6
ARECACEAE	<i>Euterpe oleracea Mart.</i>	1,3,7
ARECACEAE	<i>Euterpe precatoria Mart.</i>	5
ARECACEAE	<i>Geonoma baculifera (Poit.) Kunth</i>	1,3,4
ARECACEAE	<i>Geonoma deversa (Poit.) Kunth</i>	1,3,4
ARECACEAE	<i>Geonoma leptospadix Trail</i>	4
ARECACEAE	<i>Geonoma macrostachys Mart.</i>	4
ARECACEAE	<i>Geonoma sp.</i>	4
ARECACEAE	<i>Iriartela setigera (Mart.) H. Wendl.</i>	4
ARECACEAE	<i>Oenocarpus vacaba</i>	1,3
ARECACEAE	<i>Oenocarpus bataua Mart.</i>	4
ARECACEAE	<i>Sabal mauritiiformis (H.Karst) Griseb.</i>	2
ARECACEAE	<i>Socratea exorrhiza (Mart.) H. Wendl.</i>	4
ASPLENIACEAE	<i>Asplenium abcisum Willd.</i>	4
ASPLENIACEAE	<i>Asplenium angustum Sw.</i>	4
ASPLENIACEAE	<i>Asplenium serratum L.</i>	4,5
ASPLENIACEAE	<i>Asplenium sp</i>	4
ASTERACEAE	<i>Centratherum punctatum Cass. var. punctatum</i>	4
ASTERACEAE	<i>Chromolaena odorata (L.) King & Rob.</i>	4
ASTERACEAE	<i>Clibadium surinamense L.</i>	4
ASTERACEAE	<i>Coniza bonarienses (L.) Cronquist</i>	4
ASTERACEAE	<i>Emilia sonchifolia (L.) DC. var. sonchifolia</i>	4
ASTERACEAE	<i>Erechtites hieracifolia (L.) Raf.</i>	4

Familia	Especie	Cita
ASTERACEAE	<i>Mikania sp</i>	4
ASTERACEAE	<i>Rolandra fruticosa (L.) Kuntze</i>	4
ASTERACEAE	<i>Tilesia baccata (L.) Pruski</i>	4
BALANOPHORACEAE	<i>Helosis cayennensis (Sw.) Spreng. var. cayennensis</i>	4
BIGNONIACEAE	<i>Bignonia corymbosa</i>	3,6
BIGNONIACEAE	<i>Bignonia hyacinthina</i>	3,6
BIGNONIACEAE	<i>Bignonia sordida (Bur. & K. Schum.) Spr. & Sandw.</i>	3,6,7
BIGNONIACEAE	<i>Clytostoma binatum (Thunb.) Sandwith</i>	2
BIGNONIACEAE	<i>Cydista aequinoctialis (L.) Miers.</i>	4
BIGNONIACEAE	<i>Distictella magnoliifolia (HBK) Bur. & K. Schum.</i>	4
BIGNONIACEAE	<i>Dolichandra uncata</i>	6
BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don</i>	1,5
BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda obtusifolia Bonpl.</i>	5
BIGNONIACEAE	<i>Macfadyena uncata</i>	1
BIGNONIACEAE	<i>Mansoa hymenaea</i>	3,6
BIGNONIACEAE	<i>Mansoa kerere</i>	1
BIGNONIACEAE	<i>Memora tanaeciicarpa A. H. Gentry</i>	4
BIGNONIACEAE	<i>Mussatia hyacinthina</i>	1
BIGNONIACEAE	<i>Pachyptera kerere</i>	6
BIGNONIACEAE	<i>Phryganocydia corymbosa (Vent.) Bur. ex K. Schum.</i>	1,4
BIGNONIACEAE	<i>Pithecoctenium crucigerum (L.) A.H. Gentry</i>	4
BIGNONIACEAE	<i>Roentgenia sordida</i>	1
BIGNONIACEAE	<i>Stizophyllum riparium</i>	1,3
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia capitata (Bureau & K.Schum.) Sandwith</i>	2
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia stenocalyx Sprague & Stapf</i>	3,7
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia cf. impetiginosa (Mart. Ex DC.) Standl.</i>	1,5
BIGNONIACEAE	<i>Xylophragma seemannianum</i>	6
BIXACEAE	<i>Bixa urucurana</i>	1,3
BLECHNACEAE	<i>Salpichlaena volubilis (Kaulf.) J. Sm.</i>	4
BOMBACACEAE	<i>Catostema commune Sandw.</i>	1,3,4,7
BOMBACACEAE	<i>Catostemma sp</i>	4
BOMBACACEAE	<i>Catostemma commune Sandw.</i>	5
BOMBACACEAE	<i>Ceiba pentandra (L.) Gaertn.</i>	2,5
BOMBACACEAE	<i>Eriotheca globosa (Aubl.) A. Robyns</i>	1,5
BOMBACACEAE	<i>Pachira minor (Sims.) Hemsl.</i>	4

Familia	Especie	Cita
BORAGINACEAE	<i>Cordia bicolor</i> A.DC.	2
BORAGINACEAE	<i>Cordia exaltata</i>	1,3
BORAGINACEAE	<i>Cordia nodosa</i> Lam.	1,4
BORAGINACEAE	<i>Cordia</i> sp. 1	4
BORAGINACEAE	<i>Cordia</i> sp. 2	2
BORAGINACEAE	<i>Cordia nodosa</i> Lam.	5
BROMELIACEAE	<i>Aechmea mertensii</i> (G. Mey) Schult. F.	4
BROMELIACEAE	<i>Aechmea</i> sp.	4
BROMELIACEAE	<i>Aechmea tillandsioides</i> (Mart. ex Schult. f.) Baker	4
BROMELIACEAE	<i>Guzmania lingulata</i> (L.) Mez	4
BROMELIACEAE	<i>Guzmania</i> sp.	4
BROMELIACEAE	<i>Pitcairnia caricifolia</i> Mart. ex Schult. f.	4
BROMELIACEAE	<i>Tillandsia</i> sp.	4
BROMELIACEAE	<i>Werauhia</i> sp.	4
BURMANNIACEAE	<i>Gymnosiphon divaricatus</i> (Benth.) Benth. & Hook. f.	4
BURMANNIACEAE	<i>Gymnosiphon</i> sp.	4
BURSERACEAE	<i>Protium cuneatum</i> Sw.	4
BURSERACEAE	<i>Protium guianensis</i> (Aubl.) Marchand subsp. <i>guianensis</i>	4
BURSERACEAE	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand subsp. <i>heptaphyllum</i>	1,3,4
BURSERACEAE	<i>Protium neglectum</i>	3
BURSERACEAE	<i>Protium</i> sp. 1	4
BURSERACEAE	<i>Protium</i> sp. 2	2
BURSERACEAE	<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) Marchand	1,3,5,7
BURSERACEAE	<i>Tetragastis panamensis</i> (Engl.) Kuntze	1,3,5
BURSERACEAE	<i>Tetragastris</i> sp.	2
BURSERACEAE	<i>Trattinnickia</i> sp.	2
BURSERACEAE	<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd	1,3,5
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia guianensis</i>	
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia guianensis</i> Aubl.	2,4
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia scala-simiae</i>	1,3,6,7
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia</i> sp.	4
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia</i> sp.	5
CAESALPINIACEAE	<i>Bauhinia</i> sp.1	5
CAESALPINIACEAE	<i>Brownea coccinea</i> Jacq. subsp. <i>capitella</i> (Jacq.) <i>D.Velázquez & G.Agostini</i>	2,3,4,5

Familia	Especie	Cita
CAESALPINIACEAE	<i>Brownea latifolia</i>	1
CAESALPINIACEAE	<i>Cassia moschata</i>	1
CAESALPINIACEAE	<i>Cassia cowanii</i> H.S. Irwin & Barneby	5
CAESALPINIACEAE	<i>Eperua aff. falcata</i> Aubl.	4
CAESALPINIACEAE	<i>Eperua jenmanii</i>	1
CAESALPINIACEAE	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1,5
CAESALPINIACEAE	<i>Macrolobium bifolium</i> (Aubl.) Pers.	4
CAESALPINIACEAE	<i>Macrolobium</i> sp	4
CAESALPINIACEAE	<i>Mora excelsa</i> Benth.	1,3,4
CAESALPINIACEAE	<i>Mora gonggrijpii</i> (Klinhoonte) Sandw.	4
CAESALPINIACEAE	<i>Peltogyne paniculata</i> subsp. <i>pubescens</i>	3
CAESALPINIACEAE	<i>Peltogyne pubescens</i>	1
CAESALPINIACEAE	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	5
CAESALPINIACEAE	<i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby var. <i>Quinquangulata</i>	2
CAESALPINIACEAE	<i>Senna nitida</i>	6
CAESALPINIACEAE	<i>Senna</i> sp. 1	4
CAESALPINIACEAE	<i>Senna</i> sp. 2	5
CAESALPINIACEAE	<i>Tachigali guianense</i> Benth.	3,4
CAESALPINIACEAE	<i>Tachigali</i> sp.	4
CAESALPINIACEAE	<i>Tachigali rusbyi</i> Harms	5
CAMPANULACEAE	<i>Centropogon cornutus</i> (L.) Druce	4
CANNABACEAE	<i>Celtis iguanaea</i> .	6
CAPPARACEAE	<i>Cleome parviflora</i> Kunth	2
CARYOCARACEAE	<i>Caryocar microcarpum</i> Ducke	4
CARYOCARACEAE	<i>Caryocar nuciferum</i> L.	4
CECROPIACEAE	<i>Cecropia peltata</i> L.	1,3,4
CECROPIACEAE	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	4
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp. 1	1
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp. 2	3
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp. 3	4
CECROPIACEAE	<i>Coussapoa argentea</i> Akkermans & C.C. Berg	4
CECROPIACEAE	<i>Coussapoa</i> sp.	4
CECROPIACEAE	<i>Pourouma aff. minor</i> Benoist	4
CECROPIACEAE	<i>Pourouma bicolor</i> Mart. subsp. <i>bicolor</i>	4
CECROPIACEAE	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl. subsp. <i>guianensis</i>	4

Familia	Especie	Cita
CELASTRACEAE	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	4,5
CELASTRACEAE	<i>Hylенаea comosa</i>	3,6
CELASTRACEAE	<i>Maytenus</i> sp.	5
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella hispida</i> Miq.	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella racemosa</i> Lam. var. <i>racemosa</i>	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella silicea</i> Griseb.	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella</i> sp. 1	1,3
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella</i> sp. 2	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	5
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania alba</i> (Bernoulli) Cuatrec.	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania apetala</i> (E. Mey.) Fritsch. var. <i>aperta</i> (Benth.) Prance	1,4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania densiflora</i> Kleinhoonte	1,2,3
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania parviflora</i>	1,3
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania</i> sp.	4
CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania alba</i> (Bernoulli) Cuatrec.	5
CHRYSOBALANACEAE	<i>Parinari excelsa</i>	1,3
CHRYSOBALANACEAE	<i>Parinari rodolphii</i> Huber	1,3,5
CLUSIACEAE	<i>Calophyllum</i> sp.	2
CLUSIACEAE	<i>Caraipa richardiana</i>	1,3
CLUSIACEAE	<i>Caraipa</i> sp.	4
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> aff. <i>imbricata</i> Steyerem.	4
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> aff. <i>rosea</i> Jacq.	4
CLUSIACEAE	<i>Clusia grandiflora</i> Splitg.	4
CLUSIACEAE	<i>Clusia rosea</i>	1
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> sp. 1	5
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> sp. 2	5
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> sp. 3	4
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> sp. 4	6
CLUSIACEAE	<i>Garcinia benthamiana</i>	3
CLUSIACEAE	<i>Rheedia benthamiana</i>	1
CLUSIACEAE	<i>Symphonia globulifera</i> L.f	3,5
CLUSIACEAE	<i>Tovomita eggersii</i>	1,3
CLUSIACEAE	<i>Tovomita</i> sp.	5
CLUSIACEAE	<i>Tovomita weddeliana</i> Planch & Triana	4
CLUSIACEAE	<i>Tovomita brevistaminea</i> Engl.	5

Familia	Especie	Cita
CLUSIACEAE	<i>Vismia aff. cayennensis (Jacq.) Pers.</i>	4
CLUSIACEAE	<i>Vismia sp. 1</i>	4
CLUSIACEAE	<i>Vismia sp. 2</i>	5
COMBRETACEAE	<i>Buchenavia sp.</i>	5
COMBRETACEAE	<i>Combretum sp</i>	4
COMBRETACEAE	<i>Terminalia amazonia (J.F. Gmel.) Exell</i>	1,4,5,7
COMBRETACEAE	<i>Terminalia sp.</i>	2
COMMELINACEAE	<i>Dichorisandra hexandra (Aubl.) Standl.</i>	4
CONNARACEAE	<i>Cnestidium rufescens</i>	6
CONNARACEAE	<i>Cnestidium guianense (G. Schellenb.) G. Schellenb.</i>	5
CONNARACEAE	<i>Connarus sp.</i>	5
CONNARACEAE	<i>Rourea frutescens</i>	1,3
CONNARACEAE	<i>Rourea mazónica (Baker) Radlk.</i>	5
CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea alba</i>	1
CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea batatas (L.) Lam.</i>	4
CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea phyllomega</i>	6
CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea sp.</i>	4
CONVOLVULACEAE	<i>Maripa paniculata Barb. Rodr.</i>	1,3,6
CONVOLVULACEAE	<i>Maripa sp.</i>	5
COSTACEAE	<i>Costus scaber Ruiz & Pav.</i>	4
COSTACEAE	<i>Costus sp. 2</i>	5
COSTACEAE	<i>Costus spiralis (Jacq.) Roscoe</i>	4
COSTACEAE	<i>Costus sp. 1</i>	5
COSTACEAE	<i>Dimerocostus strobilaceus</i>	1,3
CYATHEACEAE	<i>Chemidaria spectabilis (Kunze) R.M. Tryon</i>	4
CYATHEACEAE	<i>Cyathea macrosora (Baker) Domin var. macrosora</i>	4
CYATHEACEAE	<i>Cyathea microdonta (Desv.) Domin</i>	4
CYATHEACEAE	<i>Cyathea sp.</i>	4
CYCLANTHACEAE	<i>Asplundia nilssonii Harling</i>	4
CYCLANTHACEAE	<i>Thoracocarpus bissectus</i>	1,6
CYPERACEAE	<i>Becquerelia cymosa Brongn. subsp. cymosa</i>	4
CYPERACEAE	<i>Calyptracarya glomerulata (Brongn.) Urb.</i>	4
CYPERACEAE	<i>Cyperus esculentus L.</i>	4
CYPERACEAE	<i>Cyperus laxus Lam.</i>	4
CYPERACEAE	<i>Cyperus luzulae (L.) Rottb. ex Retz</i>	4
CYPERACEAE	<i>Cyperus odoratus L</i>	4

Familia	Especie	Cita
CYPERACEAE	<i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb.	4
CYPERACEAE	<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	4
CYPERACEAE	<i>Diplasia karatifolia</i> Rich.	4,5
CYPERACEAE	<i>Eleocharis aff. filiculmis</i> Kunth	4
CYPERACEAE	<i>Eleocharis capillacea</i> Kunth	4
CYPERACEAE	<i>Eleocharis</i> sp.	4
CYPERACEAE	<i>Fimbristylis annua</i> (All.) Roem. & Schult.	4
CYPERACEAE	<i>Fimbristylis complanata</i> (Retz.) Enlace	4
CYPERACEAE	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb.	4
CYPERACEAE	<i>Hypolytrum longifolium</i> (Rich.) Nees subsp. <i>longifolium</i>	4
CYPERACEAE	<i>Hypolytrum longifolium</i> (Rich.) Nees subsp. <i>sylvaticum</i> (Poepp. & Kunth) T. Koyama	4
CYPERACEAE	<i>Mapania aff. steyermarkii</i> T. Koyama	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora exaltata</i> Kunth	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora nervosa</i> (Vahl) Boeck. subsp. <i>nervosa</i>	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora pubera</i> (Vahl) Boeck. subsp. <i>pubera</i>	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora rugosa</i> (Vahl) Gale	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora</i> sp.	4
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora trispicata</i> (Nees) Schrad.	4
CYPERACEAE	<i>Scleria melaleuca</i> Rchb. ex Schlttdl. & Cham.	4
CYPERACEAE	<i>Scleria microcarpa</i> Nees ex Kunth	4
CYPERACEAE	<i>Scleria mitis</i> P.J. Bergius	4
CYPERACEAE	<i>Scleria secans</i> (L.) Urb.	4
CYPERACEAE	<i>Scleria</i> sp. 1	5
CYPERACEAE	<i>Scleria stipularis</i> Nees	4
CYPERACEAE	<i>Scleria</i> sp. 2	5
DAVALLIACEAE	<i>Nephrolepis pendula</i> (Raddi) J.Sm.	4
DAVALLIACEAE	<i>Nephrolepis</i> sp.	4
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Lindsaea cyclophylla</i> K.U. Kramer	4
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Lindsaea dubia</i> Spreng.	4
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Lindsaea lancea</i> (L.) Bedd.	4
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Lindsaea</i> sp.	4
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	4
DICHAPETALACEAE	<i>Dichapetalum latifolium</i> Bail.	5
DICHAPETALACEAE	<i>Tapura guianensis</i> Aubl.	1,3,5

Familia	Especie	Cita
DILLENIACEAE	<i>Davilla kuntzii</i> St. Hil.	4,6
DILLENIACEAE	<i>Davilla rugosa</i> var. <i>rugosa</i>	3,6
DILLENIACEAE	<i>Doliocarpus brevipedicellatus</i> Garcke subsp. <i>brevipedicellatus</i>	4
DILLENIACEAE	<i>Doliocarpus guianensis</i> (Aubl.) Gilb.	4
DILLENIACEAE	<i>Doliocarpus</i> sp. 1	2
DILLENIACEAE	<i>Doliocarpus</i> sp. 2	5
DILLENIACEAE	<i>Tetracera volubilis</i>	1,6
DILLENIACEAE	<i>Tetracera tigarea</i> DC.	5
DIOSCOREACEAE	<i>Dioscorea</i> sp	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Elaphoglossum</i> sp	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Lomariopsis japurensis</i> (Mart.) J. Sm.	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Oleandra</i> sp.	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Polybotrya caudata</i> Kunze	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Tectaria incisa</i> Caw	4
DRYOPTERIDACEAE	<i>Tectaria</i> sp.	4
EBENACEAE	<i>Diospyros ierensis</i>	1,3
ELAEOCARPACEAE	<i>Sloanea grandiflora</i> J.E. Sm.	1,3,4
ELAEOCARPACEAE	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	1,3,4
ELAEOCARPACEAE	<i>Sloanea</i> sp.	4
ERICACEAE	<i>Spherospermum</i> sp.	4
ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxylum</i> sp	4
EUPHORBIACEAE	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	2
EUPHORBIACEAE	<i>Acidoton nicaraguensis</i> (Hemsl.) G.L.Webster	2
EUPHORBIACEAE	<i>Alchornea</i> sp.	4
EUPHORBIACEAE	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	4
EUPHORBIACEAE	<i>Chaetocarpus schomburgkianus</i> (Kuntze) Pax & Hoffmann	1,3,4,5
EUPHORBIACEAE	<i>Croton cuneatus</i> Klotzsch	4
EUPHORBIACEAE	<i>Croton megalodendron</i> Müll.Arg.	2
EUPHORBIACEAE	<i>Drypetes variabilis</i> Uitten	1,3,4
EUPHORBIACEAE	<i>Hieronyma laxiflora</i>	1
EUPHORBIACEAE	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemao	5
EUPHORBIACEAE	<i>Mabea piriri</i> Aubl.	1,3,4,5
EUPHORBIACEAE	<i>Mabea taquari</i> Aubl.	2
EUPHORBIACEAE	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	4

Familia	Especie	Cita
EUPHORBIACEAE	<i>Pausandra martinii</i> Baill.	5
EUPHORBIACEAE	<i>Pera decipiens</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg.	4
EUPHORBIACEAE	<i>Pera glabrata</i>	1,3
EUPHORBIACEAE	<i>Piranhea longepedunculata</i> Jabl.	2,4
EUPHORBIACEAE	<i>Plukenetia</i> sp.	4
FABACEAE	<i>Alexa imperatricis</i> (R.H. Schomb.) Baill.	1,3,4,5
FABACEAE	<i>Alexa</i> sp.	4
FABACEAE	<i>Andira inermis</i>	1
FABACEAE	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	2
FABACEAE	<i>Casearia grandiflora</i>	13
FABACEAE	<i>Casearia guianensis</i>	1
FABACEAE	<i>Casearia</i> sp.	2
FABACEAE	<i>Clathrotropis brachypetala</i> (Tul.) Kleinhoonte	1,2,3,7
FABACEAE	<i>Dalbergia monetaria</i> L. f.	4
FABACEAE	<i>Desmodium</i> sp.	4
FABACEAE	<i>Dioclea guianensis</i> Benth.	4
FABACEAE	<i>Dioclea</i> sp.	5
FABACEAE	<i>Diploctropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	1,5
FABACEAE	<i>Eperua venosa</i> R.S. Cowan	4
FABACEAE	<i>Erythrina mitis</i>	1
FABACEAE	Flacourtiaceae	
FABACEAE	<i>Hymenolobium heterocarpum</i>	1
FABACEAE	<i>Lecointea mazónica</i> Ducke	5
FABACEAE	<i>Lonchocarpus latifolius</i>	1
FABACEAE	<i>Lonchocarpus</i> sp.	2,5
FABACEAE	<i>Machaerium acuminatum</i>	3
FABACEAE	<i>Machaerium macrophyllum</i>	
FABACEAE	<i>Machaerium quinata</i> (Aubl.) Sandwith	3
FABACEAE	<i>Mucuna</i> sp.	4
FABACEAE	<i>Mucuna urens</i> (L.) Medik.	3,6,7
FABACEAE	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke	1,5
FABACEAE	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	3,7
FABACEAE	<i>Sclerolobium guianense</i>	1
FABACEAE	<i>Sclerolobium</i> sp.	1
FABACEAE	<i>Senegalia tenuifolia</i>	3
FABACEAE	<i>Sesbania exasperata</i> HBK	4

Familia	Especie	Cita
FABACEAE	<i>Swartzia conferta</i> Spruce ex Benth. var. <i>conferta</i>	4
FABACEAE	<i>Swartzia leptopetala</i> Benth.	4
FABACEAE	<i>Swartzia</i> sp. 1	4
FABACEAE	<i>Swartzia</i> sp. 2	2
FABACEAE	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	5
FABACEAE	<i>Zornia latifolia</i> Sm. var. <i>latifolia</i>	4
FABACEAE	<i>Zornia</i> sp.	4
GENTIANACEAE	<i>Chelonanthus alatus</i> (Aubl.) Pulle	4
GENTIANACEAE	<i>Coutoubea ramosa</i> Aubl.	4
GENTIANACEAE	<i>Coutoubea</i> sp.	4
GENTIANACEAE	<i>Schultesia</i> sp.	4
GENTIANACEAE	<i>Tachia schomburgkiana</i> Benth.	4
GENTIANACEAE	<i>Voyria aphylla</i> (Jacq.) Pers.	4
GENTIANACEAE	<i>Voyria aurantiaca</i> Splitg.	4
GENTIANACEAE	<i>Voyria</i> sp.	4
GENTIANACEAE	<i>Voyria aphylla</i> (Jacq.) Pers.	5
GESNERIACEAE	<i>Besleria</i> sp.	4
GESNERIACEAE	<i>Codonanthe calcarata</i> (Miq.) Hanst.	4
GESNERIACEAE	<i>Codonanthe crassifolia</i> (Focke) C.V. Morton	4
GESNERIACEAE	<i>Columnea crassifolia</i> (Focke) C.V. Morton,	4
GESNERIACEAE	<i>Columnea</i> sp.	4
GESNERIACEAE	<i>Nautilocalyx porphyrotrichus</i> (Leeuwenb.) Wiehler,	4
GLEICHENIACEAE	<i>Dicranopteris</i>	4
GLEICHENIACEAE	<i>Sticherus bifidus</i> (Willd.) Ching	4
GNETACEAE	<i>Gnetum urens</i> (Aubl.) Blume	4
GRAMMITIDACEAE	<i>Cochlidium furcatum</i> (Hook. & Grev.) C. Chr.	4
GRAMMITIDACEAE	<i>Cochlidium linearifolium</i> (Desv.) Maxon	4
GRAMMITIDACEAE	<i>Cochlidium</i> sp.	4
GRAMMITIDACEAE	<i>Grammitis</i> sp.	4
GRAMMITIDACEAE	<i>Melpomene</i> sp.	4
HAEMODORACEAE	<i>Xiphidium caeruleum</i> Aubl.	5
HELICONIACEAE	<i>Heliconia bihai</i> (L.) L.	2
HELICONIACEAE	<i>Heliconia chartacea</i> Lane ex Barreiros	4
HELICONIACEAE	<i>Heliconia hirsuta</i> L. f.	4
HELICONIACEAE	<i>Heliconia</i> sp. 1	5
HELICONIACEAE	<i>Heliconia</i> sp. 2	5

Familia	Especie	Cita
HELICONIACEAE	<i>Heliconia sp. 3</i>	4
HELICONIACEAE	<i>Heliconia sp. 4</i>	1
HERNANDIACEAE	<i>Hernandia guianensis Aubl.</i>	3,5
HIPPOCRATEACEAE	<i>Cheiloclinium cognatum (Miers) A.C. Sm.</i>	4
HIPPOCRATEACEAE	<i>Cheiloclinium hippocrateoides</i>	1,3
HIPPOCRATEACEAE	<i>Cheiloclinium sp.</i>	1
HIPPOCRATEACEAE	<i>Peritassa sp.</i>	4
HIPPOCRATEACEAE	<i>Salacia sp.</i>	5
HUGONIACEAE	<i>Roucheria laxiflora H. Winkl.</i>	4
HUMIRIACEAE	<i>Sacoglottis mattogrossensis Cuatr.</i>	4
HUMIRIACEAE	<i>Sacoglottis cydonioides</i>	1
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Hymenophyllum aff. elegans Spreng.</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Hymenophyllum hirsutum (L.) Sw.</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Hymenophyllum sp.</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Trichomanes aff. humboldtii (Bosch) Lellinger</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Trichomanes hostmannianum (Klotzsch) Kunze</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Trichomanes pinnatum Hedw.</i>	4
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Trichomanes sp.</i>	4
ICACINACEAE	<i>Emmotum fulvum R.A. Howard</i>	4
IRIDACEAE	<i>Cipura sp.</i>	3
LAMIACEAE	<i>Marsypianthes chamaedrys (Vahl) Kuntze</i>	4
LAURACEAE	<i>Aniba excelsa</i>	1
LAURACEAE	<i>Endlicheria cocuirey</i>	1,3
LAURACEAE	<i>Licaria sp.</i>	4
LAURACEAE	<i>Nectandra grandis</i>	1
LAURACEAE	<i>Nectandra sp.</i>	4
LAURACEAE	<i>Ocotea glandulosa</i>	1,3
LAURACEAE	<i>Ocotea guianensis Aubl.</i>	4
LAURACEAE	<i>Ocotea martiniana</i>	13
LAURACEAE	<i>Ocotea sp. 1</i>	4
LAURACEAE	<i>Ocotea sp. 2</i>	5
LECYTHIDACEAE	<i>Couratari guianensis Aubl.</i>	3,4,5
LECYTHIDACEAE	<i>Couratari multiflora</i>	1
LECYTHIDACEAE	<i>Couratari pulchra</i>	1
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera coriacea (DC.) S.A. Mori</i>	4
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera decolorans Sandwith</i>	1,2,3

Familia	Especie	Cita
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera grata</i>	1
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera pedicellata</i> (Rich.) S.A. Mori	4
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera</i> sp.	4
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera parviflora</i> (Aubl.) Miers	3,5
LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera subglandulosa</i> Poit.	1,3,5
LECYTHIDACEAE	<i>Gustavia augusta</i> L.	2
LECYTHIDACEAE	<i>Lecythis chartacea</i> O.Berg.	7
LECYTHIDACEAE	<i>Lecythis davisii</i>	1
LECYTHIDACEAE	<i>Lecythis zabucajo</i> Aubl.	4,5
LECYTHIDACEAE	<i>Lecythis corrugata</i> Poit.	5
LENTIBULARIACEAE	<i>Utricularia</i> sp.	4
LENTIBURALEACEAE	<i>Utricularia amethystina</i> Salzm. ex A. St. Hil & Girard	4
LOGANIACEAE	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	4
LOGANIACEAE	<i>Spigelia multiflora</i> Steud.	4
LOGANIACEAE	<i>Strychnos</i> sp.	5
LORANTHACEAE	<i>Phoradendron</i> sp.	5
LORANTHACEAE	<i>Phthirusa</i> sp.	5
LYCOPODIACEAE	<i>Lycopodiella cernua</i> (L.) Pic. Serm.	4
LYCOPODIACEAE	<i>Lycopodiella</i> sp.	4
LYTHRACEAE	<i>Cuphea antisiphilitica</i> Kunth var. <i>antisiphilitica</i>	4
LYTHRACEAE	<i>Cuphea</i> sp.	4
MALPIGHIACEAE	<i>Banisteriopsis</i> sp.	4
MALPIGHIACEAE	<i>Heteropterys</i> sp.	5
MALPIGHIACEAE	<i>Hiraea</i> sp.	5
MALPIGHIACEAE	<i>Lophopterys euryptera</i>	6
MALPIGHIACEAE	<i>Mascagnia ovatifolia</i>	1
MALVACEAE	<i>Herrania lemniscata</i>	1
MARANTACEAE	<i>Calathea cyclophora</i> Baker	4
MARANTACEAE	<i>Calathea</i> sp. 1	1
MARANTACEAE	<i>Calathea</i> sp. 2	3
MARANTACEAE	<i>Calathea</i> sp. 3	4
MARANTACEAE	<i>Ctenanthe compressa</i> (A.Dietr.) Eichler	2
MARANTACEAE	<i>Ischnosiphon arouma</i> (Aubl.) Körn.	1,3
MARANTACEAE	<i>Ischnosiphon gracilis</i> (Rudge) Körn	4
MARANTACEAE	<i>Ischnosiphon</i> sp.	4
MARANTACEAE	<i>Maranta ruiziana</i> Körn.	4

Familia	Especie	Cita
MARANTACEAE	<i>Maranta sp.</i>	4
MARANTACEAE	<i>Monotagma ovatum Hagberg</i>	4
MARANTACEAE	<i>Monotagma sp. 1</i>	4
MARANTACEAE	<i>Monotagma sp. 2</i>	5
MARANTACEAE	<i>Monotagma spicatum (Aubl.) J.F. Macbr.</i>	4
MARATTIACEAE	<i>Danaea nodosa (L.) Sm.</i>	4
MARCGRAVIACEAE	<i>Marcgravia coriacea Vahl</i>	4
MARCGRAVIACEAE	<i>Marcgravia sp.</i>	4
MARCGRAVIACEAE	<i>Norantea guianensis</i>	1
MARCGRAVIACEAE	<i>Norantea guianensis Aubl. subsp. guianensis</i>	4
MARCGRAVIACEAE	<i>Norantea guianensis subsp. japurensis</i>	6
MARCGRAVIACEAE	<i>Norantea sp.</i>	5
MELASTOMATAACEAE	<i>Aciotis fragilis (L.C. Rich. ex DC.) Cogn.</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Aciotis sp.</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Bellucia grossularioides (L.) Triana</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Clidemia heptamera Wurdack</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Clidemia hirta (L.) Don</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Clidemia sp. 1</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Clidemia sp. 2</i>	5
MELASTOMATAACEAE	<i>Graffenrieda caryophylla Triana</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Henriettea sp.</i>	5
MELASTOMATAACEAE	<i>Macrocentrum droseroides Triana</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Macrocentrum repens (Gleason) Wurdack</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Maieta guianensis Aubl.</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Maieta poeppigii Mart. ex Cogn.</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia aff. bracteata (DC.) Triana</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia alternans Naudin</i>	2
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia amacurensis</i>	1
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia racemosa (Aubl.) DC.</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia sp. 1</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia sp. 3</i>	1
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia sp. 4</i>	3
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia stephananthera Ule</i>	4
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia sp. 2</i>	5
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia ciliata (Rich.) DC.</i>	5
MELASTOMATAACEAE	<i>Nepsera aquatica (Aubl.) Naudin</i>	4

Familia	Especie	Cita
MELASTOMATACEAE	<i>Phainantha sp</i>	4
MELASTOMATACEAE	<i>Rhynchanthera grandiflora (Aubl.) DC.</i>	4
MELASTOMATACEAE	<i>Tococa aristata Benth.</i>	4
MELASTOMATACEAE	<i>Tococa guianensis Aubl.</i>	4
MELASTOMATACEAE	<i>Tococa sp.</i>	4
MELIACEAE	<i>Carapa guianensis Aubl.</i>	1,2,3,5,7
MELIACEAE	<i>Cedrela odorata L.</i>	5
MELIACEAE	<i>Guarea guidonia(L.) Sleumer</i>	4
MELIACEAE	<i>Guarea sp.</i>	2
MELIACEAE	<i>Trichilia lepidota</i>	1,3
MELIACEAE	<i>Trichilia quadrijuga</i>	3
MELIACEAE	<i>Trichilia rubra C. DC.</i>	4
MELIACEAE	<i>Trichilia schomburgkii</i>	1
MELIACEAE	<i>Trichilia sp. 2</i>	5
MELIACEAE	<i>Trichillia sp. 1</i>	2
MEMECYLACEAE	<i>Mouriri huberi</i>	1,3
MEMECYLACEAE	<i>Mouriri sideroxilon</i>	1,3
MEMECYLACEAE	<i>Mouriri sp.</i>	4
MENDONCIACEAE	<i>Mendoncia hoffmannseggiana Nees</i>	4
MENISPERMACEAE	<i>Curarea candicans</i>	1,3,6
METAXYACEAE	<i>Metaxya rostrata (Kunth) C. Presl</i>	4
MIMOSACEAE	<i>Abarema jupunba (Willd.) Britton & Killip</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Acacia articulata</i>	1,6
MIMOSACEAE	<i>Acacia paniculata</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Acacia sp. 1</i>	4
MIMOSACEAE	<i>Acacia sp.2</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Acacia tenuifolia</i>	6
MIMOSACEAE	<i>Balizia pedicellaris (DC.) Barneby & J.W. Grimes</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Enterolobium schomburgkii Benth.</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Inga alba (Sw.) Willd.</i>	1,2,3,5
MIMOSACEAE	<i>Inga edulis</i>	3
MIMOSACEAE	<i>Inga ingoides</i>	1,3
MIMOSACEAE	<i>Inga lateriflora</i>	1,3
MIMOSACEAE	<i>Inga nobilis Willd. subsp. nobilis</i>	4
MIMOSACEAE	<i>Inga punctata</i>	1,3
MIMOSACEAE	<i>Inga rubiginosa</i>	1,3

Familia	Especie	Cita
MIMOSACEAE	<i>Inga scabriuscula</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Inga sp. 1</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Inga sp. 2</i>	2,5
MIMOSACEAE	<i>Inga sp. 3</i>	4
MIMOSACEAE	<i>Inga splendens</i>	1,3
MIMOSACEAE	<i>Inga thibaudiana</i> DC. subsp. <i>thibaudiana</i>	2,4
MIMOSACEAE	<i>Inga umbellifera</i>	3
MIMOSACEAE	<i>Inga fastuosa</i> (Jacq.) Willd.	5
MIMOSACEAE	<i>Parkia sp. 1</i>	4
MIMOSACEAE	<i>Parkia sp. 2</i>	5
MIMOSACEAE	<i>Parkia nitida</i> Miq.	1,5
MIMOSACEAE	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. Ex Walp.	1,5
MIMOSACEAE	<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze	1,2,3,4,5,7
MIMOSACEAE	<i>Piptadenia psilostachya</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Pithecellobium jupunba</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Pithecellobium jupunba</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Pithecellobium pedicelare</i>	1
MIMOSACEAE	<i>Pithecellobium sp.</i>	2
MIMOSACEAE	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W. Grimes	1,3,5
MIMOSACEAE	<i>Stryphnodendron polystachyum</i> (Miq.) Kleinhoonte	1,5
MIMOSACEAE	<i>Zygia latifolia</i> (L.) Fawc. & Rendle	4
MIMOSACEAE	<i>Zygia sp.</i>	4
MONIMIACEAE	<i>Mollinedia ovata</i> Ruiz & Pav.	4
MORACEAE	<i>Brosimum alicastrum</i>	1
MORACEAE	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw. subsp. <i>bolivarensis</i> (Pittier) C.C. Berg	3,4
MORACEAE	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	1,2
MORACEAE	<i>Ficus maxima</i> Mill.	4
MORACEAE	<i>Ficus orinocensis</i>	1
MORACEAE	<i>Ficus radula</i>	1
MORACEAE	<i>Ficus sp. 1</i>	5
MORACEAE	<i>Ficus sp. 3</i>	4
MORACEAE	<i>Ficus sp. 2</i>	5
MYRISTICACEAE	<i>Iryanthera aff. hostmannii</i> (Benth.) Warb.	4
MYRISTICACEAE	<i>Virola sebifera</i>	1,3
MYRISTICACEAE	<i>Virola sp.</i>	4

Familia	Especie	Cita
MYRISTICACEAE	<i>Virola surinamensis</i>	1,3
MYRSINACEAE	<i>Stylogyne micrantha</i> (Kunth) Mez	2
MYRTACEAE	<i>Calycolpus goetheanus</i> (DC.) O. Berg	4
MYRTACEAE	<i>Calyptanthes multiflora</i> O. Berg.	5
MYRTACEAE	<i>Eugenia cf. pseudopsidium</i> Jacq.	2
MYRTACEAE	<i>Eugenia compta</i>	1,3
MYRTACEAE	<i>Eugenia egensis</i> DC.	4
MYRTACEAE	<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	4
MYRTACEAE	<i>Marlierea schomburgkiana</i> O. Berg	4
MYRTACEAE	<i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.	4
MYRTACEAE	<i>Myrcia paivae</i> O. Berg	4
MYRTACEAE	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) Willd.	4
MYRTACEAE	<i>Myrcia sylvatica</i> (G. Mey.) DC.	4
MYRTACEAE	<i>Myrciaria floribunda</i> (West ex Willd.) O. Berg	4
NYCTAGINACEAE	<i>Neea bernardii</i> Steyerl.	2
NYCTAGINACEAE	<i>Neea spruceana</i>	1,3
OCHNACEAE	<i>Cespedezia spathulata</i> Ruíz & Pav.	4
OCHNACEAE	<i>Ouratea</i> sp.	4
OCHNACEAE	<i>Ouratea leblond</i> (Tiegh.) Lemée	5
OCHNACEAE	<i>Sauvagesia</i> sp.	4
ONAGRACEAE	<i>Ludwigia latifolia</i> (Benth.) H.Hara	2,4
ONAGRACEAE	<i>Ludwigia</i> sp.	4
ONAGRACEAE	<i>Pharus virescens</i> Döll	2
ONAGRACEAE	<i>Streptogyne americana</i> C.E.Hubb.	2
ORCHIDACEAE	<i>Catasetum</i> sp.	4
ORCHIDACEAE	<i>Dichaea cyatheoides</i> (Desv.) U.K. Kramer	4
ORCHIDACEAE	<i>Epidendrum aff. secundum</i> Jacq.	4
ORCHIDACEAE	<i>Epidendrum</i> sp.	4
ORCHIDACEAE	<i>Phragmipedium klotzianum</i> (Rchb. f.) Rolfe	4
ORCHIDACEAE	<i>Pleurothallis lanceana</i> Lodd.	4
ORCHIDACEAE	<i>Selenipedium palmifolium</i> (Lindl.) Rchb.	5
ORCHIDACEAE	<i>Sobralia stenophylla</i> Lindl.	4
ORCHIDACEAE	<i>Vanilla</i> sp.	4
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora</i> sp. 1	4
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora</i> sp. 2	5
PHYTOLACCACEAE	<i>Seguiera macrophylla</i>	3,6

Familia	Especie	Cita
PICRAMNIACEAE	<i>Picramnia sp.</i>	5
PIPERACEAE	<i>Peperomia lancifolia Hook.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Peperomia rotundifolia (L.) Habk</i>	4
PIPERACEAE	<i>Peperomia serpens</i>	4
PIPERACEAE	<i>Peperomia sp.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper aequale Vahl</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper arboreum Aubl.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper cernuum Vell.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper dilatatum L.C. Rich</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper hostmanianum (Miq.) C. DC.</i>	1,3,4,6
PIPERACEAE	<i>Piper kegelianum (Miq.) C. DC.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper lemaense Yunck.</i>	4
PIPERACEAE	<i>Piper piscatorum Trel. & Yunck.</i>	2
PIPERACEAE	<i>Piper sp.</i>	4
POACEAE	<i>Andropogon bicornis Forssk.</i>	4
POACEAE	<i>Andropogon fasciculatus L.</i>	4
POACEAE	<i>Chloris barbata Sw.</i>	4
POACEAE	<i>Guadua venezuelae</i>	1
POACEAE	<i>Lasiacis anomala Hitchc.</i>	4
POACEAE	<i>Olyra longifolia Kunth</i>	4
POACEAE	<i>Olyra sp. 1</i>	4
POACEAE	<i>Olyra sp. 2</i>	2
POACEAE	<i>Panicum pilosum Sw.</i>	2,4
POACEAE	<i>Panicum sp.</i>	4
POACEAE	<i>Rhipidocladum sp.</i>	4
POLYGALACEAE	<i>Securidaca coriacea</i>	6
POLYGALACEAE	<i>Securidaca sp.</i>	4
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba caurana</i>	1
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba fallax Lindau</i>	2,3
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba latifolia</i>	1
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba marginata</i>	6
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba sp. 1</i>	5
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba sp.2</i>	1,3
POLYGONACEAE	<i>Triplaris surinamensis</i>	1
POLYGONACEAE	<i>Triplaris weigeltiana</i>	3
POLYPODIACEAE	<i>Dicranoglossum desvauxii (Klotzsch) Proctor</i>	4,5

Familia	Especie	Cita
POLYPODIACEAE	<i>Microgramma lycopodioides</i> (L.) Copel	4
POLYPODIACEAE	<i>Microgramma</i> sp. 1	4
POLYPODIACEAE	<i>Microgramma</i> sp. 2	5
POLYPODIACEAE	<i>Microgramma reptans</i> (Cav.) A.R. Sm.	5
POLYPODIACEAE	<i>Polypodium</i> sp.	4
PTERIDACEAE	<i>Adiantum cajennense</i> Willd.	2
PTERIDACEAE	<i>Adiantum latifolium</i> Lam.	2
PTERIDACEAE	<i>Adiantum petiolatum</i>	1,3
PTERIDACEAE	<i>Adiantum pulverulentum</i> L.	4
PTERIDACEAE	<i>Adiantum</i> sp.	4
PTERIDACEAE	<i>Adiantum cajennense</i> Willd.	5
PTERIDACEAE	<i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Enlace	4
QUIINACEAE	<i>Quiina guianensis</i> Crueb.	2
RAPATAACEAE	<i>Rapatea paludosa</i> Aubl. var. <i>paludosa</i>	4
RAPATAACEAE	<i>Rapatea steyermarkii</i> Maguire	4
RAPATAACEAE	<i>Spathanthus unilateralis</i> (Rudge) Desv.	4
RHAMNACEAE	<i>Gouania lupuloides</i>	1,3,6
RHIZOPHORACEAE	<i>Sterigmatopetalum</i> sp	4
RUBIACEAE	<i>Amaioua corymbosa</i> Kunth	5
RUBIACEAE	<i>Amaioua guianensis</i>	1
RUBIACEAE	<i>Borreria capitata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	4
RUBIACEAE	<i>Borreria hispida</i> Spruce	2
RUBIACEAE	<i>Borreria latifolia</i> var. <i>latifolia</i> (Aubl.) Schum.	4
RUBIACEAE	<i>Borreria</i> sp.	4
RUBIACEAE	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer	4
RUBIACEAE	<i>Chimarrhis microcarpa</i>	1
RUBIACEAE	<i>Duroia eriopila</i>	1,3
RUBIACEAE	<i>Faramea torquata</i> Müll.Arg.	1,3,7
RUBIACEAE	<i>Gonzalagunia dicocca</i> Cham, & Schltld.	4
RUBIACEAE	<i>Isertia hypoleuca</i> Benth.	4
RUBIACEAE	<i>Ladenbergia lambertiana</i> (A. Braun ex Mart.) Klotzsch	4
RUBIACEAE	<i>Malanea gabrielensis</i> Müll. Arg.	4
RUBIACEAE	<i>Manettia alba</i> (Aubl.) Wernham	4
RUBIACEAE	<i>Morinda tenuiflora</i> (Benth.) Steyerm.	4
RUBIACEAE	<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	4
RUBIACEAE	<i>Palicourea</i> sp. 1	4

Familia	Especie	Cita
RUBIACEAE	<i>Palicourea sp. 2</i>	5
RUBIACEAE	<i>Psychotria anceps Kunth</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria bostrychothyrsus Sandwith</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria humboldtiana (Cham.) Müll. Arg.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria iodotricha Müll. Arg.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria microbotrys Ruíz ex Standl.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria poeppigiana Müll. Arg.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria polycephala Benth.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria sp.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria triphylla DC.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Psychotria apoda Steyererm.</i>	4,5
RUBIACEAE	<i>Remijia densiflora Benth.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Rolandra fruticosa (L.) Kuntze</i>	4
RUBIACEAE	<i>Sipanea biflora (L. f.) Cham. & Schltld.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Sipanea pratensis Aubl. var. dichotoma (Kunth) Steyererm.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Sipanea sp.</i>	4
RUBIACEAE	<i>Uncaria guianensis (Aubl.) Gmel.</i>	1,3,4,6,7
RUTACEAE	<i>Angostura pentagyna (A.St.-Hill.) Albuquerque</i>	2
RUTACEAE	<i>Angostura trifoliata (Willd.) T.S. Elias</i>	4
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum apiculatum (Sandw.) P.G. Waterman</i>	4
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum sp.</i>	2
SALICACEAE	<i>Laetia procera</i>	1
SAPINDACEAE	<i>Cupania cinerea</i>	1,3
SAPINDACEAE	<i>Cupania hirsuta Radlk.</i>	4
SAPINDACEAE	<i>Cupania scrobiculata L.C. Rich.</i>	4
SAPINDACEAE	<i>Matayba opaca Radlk.</i>	4
SAPINDACEAE	<i>Matayba sp.</i>	2
SAPINDACEAE	<i>Paullinia pinnata L.</i>	4
SAPINDACEAE	<i>Paullinia sp. 1</i>	5
SAPINDACEAE	<i>Paullinia sp. 2</i>	5
SAPINDACEAE	<i>Serjania atrolineata</i>	1,3
SAPINDACEAE	<i>Serjania atrolineata</i>	6
SAPINDACEAE	<i>Serjania membranacea Splitg.</i>	4
SAPINDACEAE	<i>Serjania pyramidata</i>	6
SAPINDACEAE	<i>Serjania sp.</i>	5
SAPINDACEAE	<i>Talisia hexaphylla Vahl</i>	4

Familia	Especie	Cita
SAPINDACEAE	<i>Talisia reticulata</i>	1,3
SAPINDACEAE	<i>Toulicia guianensis</i>	1,3
SAPINDACEAE	<i>Toulicia sp.</i>	2,5
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum argenteum subsp. auratum</i>	3
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum auratum</i>	1
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum argenteum Jacq.</i>	2,5
SAPOTACEAE	<i>Ecclinusa guianensis Eyma</i>	4
SAPOTACEAE	<i>Ecclinusa sp.</i>	1
SAPOTACEAE	<i>Manilkara bidentata (A. DC.) Chev.</i>	1,4,5
SAPOTACEAE	<i>Micropholis venulosa (Mart. & Eich.) Pierre</i>	4
SAPOTACEAE	<i>Pouteria aff. cayennensis (A. DC.) Eyma</i>	4
SAPOTACEAE	<i>Pouteria egregia</i>	1,3
SAPOTACEAE	<i>Pouteria scrobiculata Monach. ex T.D. Penn.</i>	4
SAPOTACEAE	<i>Pouteria sp. 1</i>	5
SAPOTACEAE	<i>Pouteria sp. 2</i>	2,5
SAPOTACEAE	<i>Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Radlk.</i>	1,5
SAPOTACEAE	<i>Pouteria venosa (Mart.) Baehni</i>	1,3,5
SAPOTACEAE	<i>Pradosia cochlearia subsp. praealta</i>	3
SAPOTACEAE	<i>Pradosia praealta</i>	1
SCHIZAEACEAE	<i>Lygodium volubilis Sw.</i>	4
SCHIZAEACEAE	<i>Schizaea elegans (Vahl) Sw.</i>	4
SCHLEGELIACEAE	<i>Schlegelia spruceana Bur. & K. Schum.</i>	4
SCHLEGELIACEAE	<i>Schlegelia violacea (Aubl.) Griseb.</i>	4
SELAGINELLACEAE	<i>Selaginella potaroensis Jenman</i>	4
SELAGINELLACEAE	<i>Selaginella sp.</i>	4
SIMAROUBACEAE	<i>Quassia amara L.</i>	4
SIMAROUBACEAE	<i>Simaba multiflora</i>	1
SIMAROUBACEAE	<i>Simaba sp. 1</i>	5
SIMAROUBACEAE	<i>Simarouba amara Aubl.</i>	1,3,5
SIPARUNACEAE	<i>Siparuna guianensis Aubl.</i>	4,5
SMILACACEAE	<i>Smilax maypurensis</i>	1,6
SMILACACEAE	<i>Smilax shomburgkiana Kunth</i>	4
SMILACACEAE	<i>Smilax sp.</i>	4
SOLANACEAE	<i>Solanum extensum Bitter</i>	2
SOLANACEAE	<i>Solanum hirtum Vahl</i>	4
SOLANACEAE	<i>Solanum lanceaefolium Jacq.</i>	4

Familia	Especie	Cita
SOLANACEAE	<i>Solanum sp. 1</i>	4
SOLANACEAE	<i>Solanum sp.2</i>	5
SOLANACEAE	<i>Solanum stramonifolium Jacq.</i>	4
STERCULIACEAE	<i>Guazuma ulmifolia Lam.</i>	2
STERCULIACEAE	<i>Sterculia pruriens (Aubl.) K.Schum.</i>	3,7
STERCULIACEAE	<i>Sterculia sp. 1</i>	1
STERCULIACEAE	<i>Sterculia sp. 2</i>	3
STERCULIACEAE	<i>Sterculia kayae Berry</i>	5
THEACEAE	<i>Archytaea triflora Mart.</i>	4
THELYPTERIDACEAE	<i>Thelypteris sp. 1</i>	4
THELYPTERIDACEAE	<i>Thelypteris sp. 2</i>	2
THEOPHRASTACEAE	<i>Clavija imatacae</i>	3
THEOPHRASTACEAE	<i>Clavija lancifolia</i>	1
THEOPHRASTACEAE	<i>Clavija sp.</i>	5
THURNIACEAE	<i>Thurnia sphaerocephala (Rudge) Hook. f.</i>	4
TILIACEAE	<i>Apeiba aspera Aubl.</i>	2
TILIACEAE	<i>Apeiba tibourbou</i>	1,3
TILIACEAE	<i>Apeiba petoumo Aublet</i>	5
TRIURIDACEAE	<i>Sciaphila purpurea Benth.</i>	4
ULMACEAE	<i>Trema micrantha (L.) Blume</i>	4
VERBENACEAE	<i>Aegiphila integrifolia (Jacq.) B.D. Jacks.</i>	4
VERBENACEAE	<i>Aegiphila macrantha Ducke</i>	5
VERBENACEAE	<i>Bouchea prismatica (L.) Kuntze</i>	4
VERBENACEAE	<i>Lantana camara L.</i>	4
VERBENACEAE	<i>Petrea aspera</i>	1
VERBENACEAE	<i>Petrea volubilis L.</i>	3,6,7
VERBENACEAE	<i>Vitex sp.</i>	2
VERBENACEAE	<i>Vitex compressa Turcz.</i>	5
VIOLACEAE	<i>Paypayrola longifolia Tul.</i>	1,3,4,5,7
VIOLACEAE	<i>Rinorea flavescens (Aubl.) Kuntze</i>	4
VIOLACEAE	<i>Rinorea lindeniana</i>	1,3
VIOLACEAE	<i>Rinorea riana Kuntze</i>	2
VIOLACEAE	<i>Rinorea riana Kuntze</i>	1,3,7
VIOLACEAE	<i>Rinorea sp.</i>	4
VIOLACEAE	<i>Rinorea pubiflora (Benth.) Sprague & Sandwith</i>	5
VITACEAE	<i>Cissus erosa L.C. Rich.</i>	4



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Familia	Especie	Cita
VITACEAE	<i>Cissus haematantha</i>	6
VOCHYSIACEAE	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	1,3,5
VOCHYSIACEAE	<i>Qualea dinizii</i> Ducke	2,5
VOCHYSIACEAE	<i>Vochysia tetraphylla</i> (G. Mey.) DC.	4
VOCHYSIACEAE	<i>XYRIDACEAE</i>	
VOCHYSIACEAE	<i>Xyris fallax</i> Malme	4
VOCHYSIACEAE	<i>Xyris</i> sp.	4
ZYNGIBERACEAE	<i>Renealmia alpinia</i> (Rothb.) Maas	4,5
ZYNGIBERACEAE	<i>Renealmia aromatica</i> (Aubl.) Griseb.	4
ZYNGIBERACEAE	<i>Renealmia orinocensis</i> Rusby	1,4



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Capítulo 14

Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos Culturales de la Reserva Forestal Imataca

Resumen

Los Servicios Ecosistémicos Culturales son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas del bosque. Estos servicios mejoran la calidad de vida. En la Reserva Forestal Imataca tales servicios son educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

La valoración económica de tales servicios contribuyó a la aplicación de un Protocolo para la Valoración Ambiental y Económica de la Reserva, lo cual puede servir de base para justificar su conservación por encima de políticas que conduzcan a un aprovechamiento insostenible, así como, la elaboración de incentivos económicos que apoyen dicha conservación.

Por otro lado, la valoración económica de los Servicios Ecosistémicos Culturales de la Reserva ayudará al diseño de políticas de aprovechamiento, su regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales e incrementar la sensibilización ambiental respecto a la misma.

Para realizar la valoración económica de los servicios mencionados anteriormente, se usó el método de valoración contingente tipo *referéndum*. La encuesta definitiva se aplicó a 400 entrevistados, usando como población objetivo la Gran Caracas y Venezuela, de las cuales se analizaron 393. De éstas, las entrevistas personales se ejecutaron en el municipio Libertador de la Gran Caracas (178 encuestas) y Ciudad Bolívar (130 encuestas); 24 telefónicas en el Municipio Caroní del estado Bolívar y 61 por internet (38 de la ciudad de Mérida, 9 de la ciudad de Caracas, 4 de Barquisimeto, 4 de Maturín, 3 de Maracaibo y 3 de Valencia). Asumiendo que no existe diferencias en el mecanismo de aplicación de las encuestas, como han manifestado algunos autores, se analizaron en un solo conjunto.

Se calcularon las estadísticas descriptivas de las respuestas. Por otro lado, se estimaron las medidas de bienestar (media y mediana), usando dos métodos no paramétricos y uno paramétrico. Los montos ofrecidos para calcular la probabilidad de Sí fueron 1, 2, 5, 10 y 15 USD anual, durante 5 años.

Los valores medio de los SE culturales de la RFI oscilan entre 52 360 514,1 y 268 540 930,0 USD/año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente. Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 13,71 y 70,30 USD/ha al año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.

Realizando un promedio de los métodos, la Disposición A Pagar (DAP) anual por persona por los SE culturales de la RFI está alrededor de 9,30 USD. Este valor representa el 0,06% del PIB de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Venezuela del año 2014, que fue de 15 692,41 USD/persona. Si se usa el PIB del año 2019, cuyo valor nominal es 2 548,0 USD/persona, el valor de la DAP es el 0,4% del PIB.

Usando un valor anual de ingresos medio de los entrevistados de 320,0 USD, la Disposición A Pagar anual representa el 2,9% de los mismos.

El 95,4% de las personas entrevistadas consideran que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada. Mientras que el 97,2% está de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población y mantener los SE culturales. Sin embargo, sólo el 66,7% contribuiría monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan. Las principales razones argumentadas sobre las razones del No fueron ingresos insuficientes, y que debe ser el Estado quien debe financiar el Plan y que tienen desconfianza de que el Plan se lleve a cabo.

La edad promedio de los que participaron en las encuestas fue 40 años. El número promedio de miembros del hogar 4. El sexo de los que participaron en las encuestas fue 49,1% femenino y 50,1% masculino. Por otra parte, 69,2% tienen estudios universitarios completos; y 77,8% se sitúan en un nivel de salario mensual entre 150 000 a 1,5 millones de VES; 60% están entre 151 000 a 700 000 VES mensuales. 79,6% de los encuestados tienen empleo formal.

El 45,4% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, recomiendan a una ONG para el manejo de los fondos. El 23,7% sugieren una fusión entre ONG, el Estado venezolano y una organización indígena. Casi el 70% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, tienen una seguridad de pago mayor al 60%. Una seguridad de pago mayor a 80% la tienen 38,9%. El 77,5% prefiere hacer el pago por transferencia. El 40,8 % de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, indicaron que todos los elementos de los SE culturales de la RFI eran prioritarios. El 35,5% indicó que educación, estudios e investigaciones eran prioritarios. La herencia cultural y el idioma indígena apenas fueron prioritarios para un 3,9% de los encuestados.

El principal aspecto relevante de los resultados encontrados, es que el presente estudio es uno de los pioneros del uso de valoración contingente en la valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales de los bosques del país. Asimismo, los resultados se pueden usar de base para ayudar al diseño de políticas de aprovechamiento y conservación, su regulación ambiental, apoyar las cuentas nacionales e incrementar la sensibilización ambiental respecto a los servicios ecosistémicos culturales de los bosques.

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los servicios ecosistémicos culturales de la RFI fueron: situación país en lo que respecta a las condiciones sociales y económicas de sus habitantes en relación con los ingresos, así como a las prioridades de sus gastos. Poca gente estuvo dispuesta a contestar las encuestas, por lo que para reunir una muestra representativa se tuvo que unir las respuestas personales, con las de internet y las telefónicas. Las entrevistas personales tuvieron un costo alto. A lo anterior se sumó las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas. La escasez de gasolina, además de incrementar el costo de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



los traslados para inspeccionar la ejecución de las encuestas, redujo las movilizaciones de los entrevistadores y en algunos casos, la inseguridad personal en algunas áreas, redujo la movilización de los entrevistadores.

1. Introducción

Los Servicios Ecosistémicos (SE) Culturales son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas del bosque. Tales servicios mejoran la calidad de vida (Masiero y otros, 2019).

Pearce (2012) indica que la Disposición a Pagar (DAP) anual por habitante de un país por acceder o conservar la herencia cultural del mismo puede representar el 0,01% al 0,3 % del producto interno del mismo.

Mitchell y Carson (1989) indican que el principal problema que se tiene cuando se valoran SE culturales con el método de valoración contingente es la información que la gente posee sobre tales servicios.

Los SE culturales presentes en la RFI son: educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

Los métodos de valoración más recomendados son: costo de viaje para la recreación y el turismo y valoración contingente para valores espirituales y religiosos, valores estéticos y bellezas escénicas, inspiración, educación, investigación, sensación de placer y herencia culturales (Masiero y otros, 2019).

El método de los precios hedónicos se puede usar para valorar atributos estéticos y bellezas escénicas, siempre y cuando se pueda relacionar el valor de las propiedades con los mismos (Masiero y otros, 2019).

En el presente apartado se usó el método de valoración contingente para valorar los SE culturales de la RFI.

Mitchell y Carson (1989) indican que el principal problema que se tiene cuando se valoran SE culturales con el método de valoración contingente es la información que la gente posee sobre tales servicios.

Throsby (2003) señala que la DAP obtenida de la aplicación del método de ninguna manera refleja el verdadero valor de los SE culturales.

Unido a lo anterior, la situación económica y social del país afectó la aplicación del método y por ende los resultados obtenidos. Sin embargo, se obtuvieron unos ordenes de magnitud que pueden servir para justificar la conservación de los SE culturales de la RFI.

Los valores medio de los SE culturales de la RFI oscilan entre 52 360 514,1 y 268 540 930,0 USD/año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 13,71 y 70,30 USD/ha al año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.

La Disposición a Pagar (DAP) anual por persona por los SE culturales de la RFI está alrededor de 9,30 USD. Este valor representa el 0,06% del PIB de Venezuela para el año 2014, el cual fue de 15 692,41 USD/persona al año. Si se usa el PIB del año 2019, cuyo valor nominal es 2 548 USD/persona al año ([ACYBGNSzgpxaQLV2vqq-nW EzCaLhk0OXA%3A1576850173895&ei=dL8XdycNsSG5wKPjpXQCw&q=producto+interno+bruto+de+venezuela+2019&oq=producto+interno+bruto+de+Venezuela](https://datos.bancomundial.org/indicadores/NY.GDS.YV.CD?locations=SV)), el valor de la DAP es el 0,4% del PIB.

Dada la poca importancia manifestada por los encuestados de los SE herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena, se recomienda difundir y educar al país sobre la importancia universal de las mismas.

En este orden de ideas, este apartado se inicia con la presente introducción, continúa con el marco teórico, sigue con la descripción de la metodología, las limitaciones encontradas para realizar la valoración económica, los resultados y hallazgos y finaliza con las conclusiones y recomendaciones.

2. Marco teórico

El Método de Valoración Contingente (MVC) usa un enfoque directo de valoración de los cambios en el bienestar ante modificaciones de un bien ambiental. El mecanismo utiliza instrumentos como encuestas, entrevistas y cuestionarios, entre otros. Uno de los mayores atractivos del MVC es obtener valoraciones que estén cerca de lo que aparecería si existiera un mercado real (Riera, 1994).

Es el único método disponible para estimar el valor económico total. Es decir, estimar también los valores de no uso y aquellos que no son materiales (OECD, 2018).

Los pasos generales de aplicación de la técnica son, según Johnston y otros (2017):

- Identificación de los flujos de bienes y servicios del activo ambiental a valorar.
- Identificación de los tipos de valores generados por el activo ambiental.
- Diseño de una encuesta.
- Estimación del tamaño de la muestra.
- Recolección de datos y procesamiento.
- Estimación de Medidas de Bienestar.

Las encuestas se estructuran de la siguiente manera (Cameron y Carson, 1989):

- Primer bloque: donde se expone información importante sobre el bien u objeto de estudio (identificar el SE).



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Segundo bloque: en el cual se describe la modificación propuesta e impactos (dosis-respuesta), "vehículo de pago". Determinar la Disposición A Pagar (DAP).
- Tercer bloque: estructurado para conocer las características socioeconómicas del entrevistado.

Los mecanismos de aplicación de las encuestas son (Riera, 1994 y OECD, 2018):

- Entrevistas personales, las cuales permiten entregar información detallada, material visual, responder dudas, control del tiempo; los inconvenientes principales son el sesgo del entrevistador y el costo.
- Entrevistas telefónicas, las cuales son de bajo costo; sus limitaciones: imposible ayudas visuales e información detallada, reducido campo de aplicación.
- Encuestas por correo, estas son de bajo costo, se pueden usar ayudas visuales; sus desventajas es que no permite control en proceso de respuestas, ni aclarar dudas, ni realizar un proceso iterativo.
- Experimentos de laboratorio, los cuales permiten procesar información y realizar modificaciones necesarias; su principal inconveniente: dificultad para reunir un grupo representativo.
- Encuestas por internet, son de bajo costo y se pueden responder preguntas y presentar información visual. El principal inconveniente es que no todo mundo cuenta con internet.

Los formatos de las preguntas de DAP pueden ser (MinAmbiente, 2018):

- Abierto: El Entrevistador espera la respuesta del monto que digan los entrevistados. Una gran desventaja es el elevado número de no respuestas (desconocimiento), así como el tamaño de la desviación de las respuestas.
- Subasta: "Punto de partida" y pregunta si \uparrow ó \downarrow hasta que entrevistado se "planta", es decir, se indica un monto, si el entrevistado dice si se sube el monto hasta que el entrevistado diga no. Si dice no al monto indicado, se baja éste, hasta el momento en que el entrevistado diga sí. El sesgo principal es el punto de partida con el cual inicia el entrevistador.
- Múltiple: se entrega un cuadro con cifras ordenadas y el entrevistado selecciona una. Su sesgo es el rango de cifras entregadas.
- Binario o referéndum: Se le pregunta si está la DAP en un monto. El entrevistado dice sí o no. El sesgo principal es el monto ofrecido.
- Iterativo: es una combinación del binario y el de subasta. Se pregunta primero la DAP por un monto. El entrevistado dice sí o no. Se calcula el valor. Si dijo sí, se sube el monto y se vuelve a preguntar sí o no. Al final se van a tener distintos valores de la mediana. El sesgo principal está asociado a los montos ofrecidos.

La técnica presenta varios sesgos (Cameron y Carson, 1989), siendo los principales:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Sesgo estratégico: el entrevistado dice que está de acuerdo con pagar por un nivel de un bien, pero da la respuesta para otro nivel. Dicho comportamiento busca influir sobre las respuestas de los otros entrevistados. El entrevistador debe buscar controlar esa situación.
- Sesgo del entrevistador: ocurre cuando el entrevistador presenta la información de una manera tal que influya en la DAP del entrevistado. Para controlar este sesgo, los entrevistadores deben recibir capacitación previa.
- Sesgo del planteamiento de la hipótesis: se corre el riesgo que la DAP no sea la verdadera. Este sesgo es propio del método. Para controlarlo, se debe realizar la mayor cantidad de pruebas pilotos posibles.
- Sesgo del punto de partida o del monto ofrecido: es similar al anterior.

La estimación de la DAP por individuo u hogar encuestado se realiza calculando la media o la mediana de los montos investigados. Generalmente, se usa la mediana debido a que es una estimación más conservadora. Usualmente, el tipo de pregunta aplicado es la de referéndum.

En este tipo de pregunta se señala un monto y las personas responden sí o no. La hipótesis que subyace es que en la medida que aumenta el monto propuesto, la probabilidad de decir sí es menor.

La ecuación que se usa es:

$$\text{Prob Sí} = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$$Z = \beta_0 - \beta_1 \text{monto} + \beta_2 \text{ingresos} \dots \dots \beta_n X_n \quad (\text{Ecuación 2})$$

El valor de la mediana corresponde al punto donde la Probabilidad Sí es 0,5. Es decir donde Z es igual a 0.

A partir de ahí, el monto de la mediana es

$$\text{monto} = \frac{\beta_0 + \beta_2 \text{ingresos} \dots \dots \beta_n X_n}{\beta_1} \quad (\text{Ecuación 3})$$

El monto obtenido se multiplica por la población de donde se tomó la muestra. El resultado es el valor del SE valorado.

Recomendaciones para aplicar el método de Valoración Contingente:

Según MinAmbiente (2018), se recomienda que:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Cuando la encuesta se realiza en formato referendo, la variable dependiente es binaria (Sí/No); por lo tanto, se debe establecer una forma funcional de la regresión compatible con este tipo de variables.
- Siempre se debe hacer una encuesta piloto para ajustar las preguntas y para identificar el mejor precio o rango de precios para utilizar.
- Las personas encuestadas deben conocer bien el servicio ecosistémico que se quiere valorar, para poder relacionar su cambio con un efecto sobre su bienestar.
- Debido a los sesgos que puede tener esta metodología, se deben tomar medidas para evitar al máximo el sesgo de selección, el sesgo de comportamiento estratégico y el sesgo asociado al encuestador.
- La encuesta debe permitirle a los encuestados entender bien el cambio que se quiere valorar para que puedan revelar adecuadamente sus preferencias.
- La muestra debe ser la seleccionada de forma adecuada para que sea representativa de la población y para que el valor final agregado sí sea confiable.
- En el modelo econométrico, además de la respuesta a la pregunta de la disposición a pagar o disposición a aceptar, se deben incluir como variables independientes las características socioeconómicas de cada persona, así como las respuestas a preguntas sobre su actitud hacia la naturaleza.
- La descripción del mercado hipotético debe incluir la identificación de quién va a proveer el servicio y quién va a pagar por él.
- Se debe aclarar siempre que el dinero o el tiempo (según el medio de pago que se escoja) se pueden utilizar en otras actividades, para que no exista sobrevaloración.
- La disposición a pagar se encuentra limitada por la restricción presupuestal de las personas, mientras que la disposición a aceptar no tiene este límite, por lo cual, los valores obtenidos a partir de la disposición a pagar pueden llegar a subvalorar los servicios ecosistémicos. Considerando lo anterior, debe tenerse en cuenta este sesgo al momento de emplear la información obtenida a partir de la aplicación del método en los procesos de toma de decisiones.

3. Metodología para seguir para aplicar el método contingente en la valoración económica de los SE culturales en la RFI.

La Figura 14.1 muestra la metodología usada para aplicar el Método Contingente en la valoración económica de los SE culturales en la RFI.

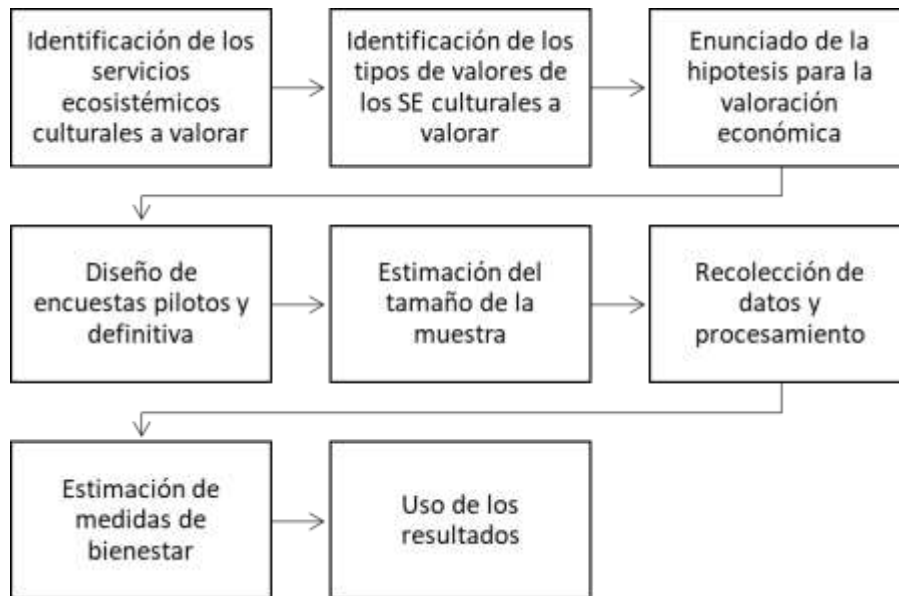


Figura 14.1. Metodología usada para aplicar el método contingente en la valoración económica de los SE culturales en la RFI.

Identificación de los SE culturales a valorar

Los servicios ecosistémicos culturales valorados fueron: Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena.

Tipos de valores de los SE culturales identificados

Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes corresponden a los valores de uso directo no extractivo. Entretanto, la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y la preservación del idioma indígena son valores de no uso de legado.

Enunciado de la hipótesis para la valoración económica

Los SE culturales están amenazados por las actividades mineras, forestales y agrícolas, controladas o no, que se realizan en la Reserva. Los indígenas son los guardianes de la Reserva. Para contrarrestar las amenazas se debe formular un Plan, con sus Programas y Proyectos, con la participación de la población indígena. Dicho Plan buscará afianzar la educación,



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



estudios e investigaciones en el área, incentivará la recreación, ecoturismo y el aprovechamiento de las bellezas escénicas y paisajes de la zona, mantendrá la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y la preservación del idioma indígena.

La hipótesis es que, si se realiza el Plan, se conservan los SE culturales de la Reserva y, por ende, las contribuciones que se realicen para ejecutar el Plan reflejan el valor de los SE culturales de la misma. Asimismo, mientras mayor sea el monto ofrecido por la disposición a pagar, la probabilidad de que el entrevistado diga Sí, es menor.

Diseño de encuestas piloto y definitiva

Las encuestas se diseñaron siguiendo las recomendaciones de Riera (1994), Cameron y Carson (1989), MinAmbiente (2018) y Johnston y otros (2017). Las mismas contienen:

- Primer bloque: donde se expone información importante sobre el bien u objeto de estudio (identificar el SE).
- Segundo bloque: en el cual se describe la modificación propuesta e impactos (dosis-respuesta), "vehículo de pago". Determinar la Disposición A Pagar (DAP).
- Tercer bloque para conocer las características socioeconómicas del entrevistado

La encuesta piloto tuvo el propósito de conocer, en primer lugar, si las preguntas realizadas eran comprensibles y, además, determinar mediante una pregunta abierta los montos a ofrecer para la aplicación del método referéndum a usar en la encuesta definitiva.

A continuación, se presenta la información del primer bloque de la encuesta definitiva:

- La Reserva Forestal Imataca, RFI, se ubica en la región de Guayana de Venezuela, Figura 14.2; ocupa los municipios Casacoima y Antonio Díaz del estado Delta Amacuro, y los municipios Sifontes, Padre Pedro Chien, Piar y Roscio del estado Bolívar; Figura 14.3. La Reserva tiene una superficie un poco mayor a 3 millones 800 mil hectáreas.



Figura 14.2. Ubicación de la RFI

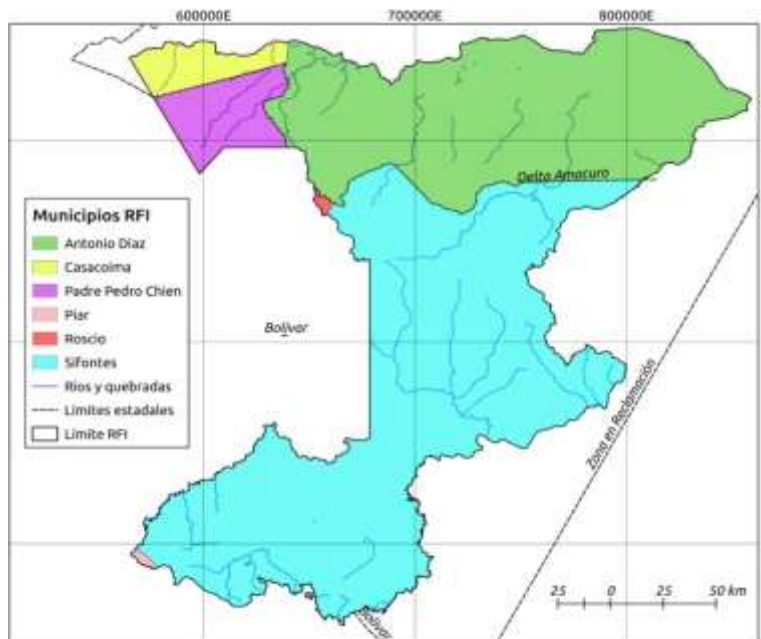


Figura 14.3. Estados y municipios de la RFI

- En La Reserva habitan 5 comunidades indígenas: Akawaio, Arawako, Kariña, Pemón y Warao, Figura 14.4.

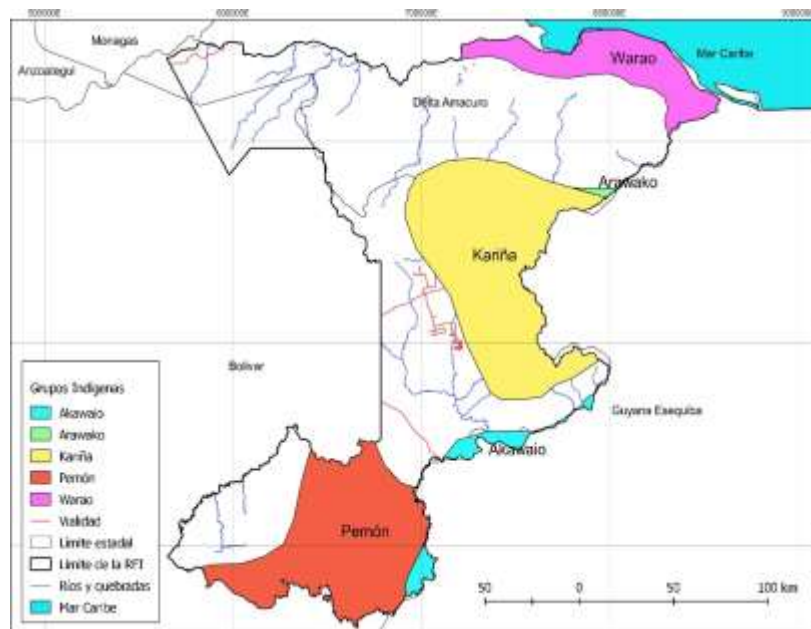


Figura 14.4. Ubicación de las comunidades indígenas en la RFI

- Para el censo 2011, la población indígena de la RFI se estimó, Tabla 1, mayor a 30 000 habitantes.

Tabla 14.1. Población indígena de la RFI

Estados	Municipios	Población Total
Estado Bolívar	Municipio Sifontes	8 746
	Municipio Padre Pedro Chien	43
Estado Delta Amacuro	Municipio Antonio Díaz	24 577
	Municipio Casacoima	428

- Esta población es considerada como los **guardianes esenciales de la Reserva** pues: a) conservan y restauran los bosques, b) ejercen prácticas agrícolas amigables al ambiente, c) conservan la biodiversidad, pues su seguridad alimentaria y nutrición dependen de la misma, d) ayudan a la mitigación del cambio climático, mediante la protección de los recursos naturales y ríos, e) cultivan rubros con altos contenidos proteicos que pueden ayudar al país a incrementar la base alimentaria, y f) poseen estilos de vida adaptados a los espacios que habitan respetando su entorno natural.
- Sin embargo, en la Reserva existen amenazas sobre sus poblaciones indígenas. Las mismas la representan las actividades agrícolas, forestales y mineras controladas y no controladas.

En este orden de ideas, se está formulando un Plan, con sus respectivos programas y proyectos, diseñado e implementado con la participación de los indígenas, que contrarrestará dichas

amenazas. Dicho Plan buscará afianzar la educación, estudios e investigaciones en el área, incentivará la recreación, ecoturismo y el aprovechamiento de las bellezas escénicas y paisajes de la zona, mantendrá la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y la preservación del idioma indígena. La Figura 14.5 hace alusión al Plan a formular.



Figura 14.5. Algunos elementos del Plan

Seguidamente, se incluyen la siguiente declaratoria para los encuestados: "En tal sentido, me gustaría dedicara unos 10 minutos de su tiempo, para contestar las preguntas que a continuación le hago, cuyas respuestas son confidenciales".

Las preguntas corresponden a los bloques segundo y tercero de la encuesta, tal como muestra la Tabla 14.2:

Tabla 14.2. Preguntas de la encuesta

1. ¿Considera usted que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada para garantizar el flujo de los beneficios de los bosques para el país? Si (1) No (0)						
2. ¿Está usted de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan, con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población? Si (1) No (0)						
3. ¿Contribuiría usted monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan? Sí (1) No (0). Si la respuesta es No, pase a pregunta 4. Si la respuesta es Sí, pase a pregunta 5 y continuar.						
4. Si la respuesta es no, ¿cuál es su razón? Pase a pregunta 12 y continuar.	Ingreso insuficiente (1)	Prefiero usar mi dinero en otras cosas prioritarias (2)	El estado venezolano debe financiar el Plan (3)	No confío que el Plan se lleve a cabo (4)	El Plan debe ser financiado por una agencia internacional (5)	
5. Si la respuesta es Sí, ¿estaría usted dispuesto a contribuir con A USD al año, durante 5 años para que se formule e implemente el Plan? Si (1) No (0)						
6. ¿Si la respuesta es Sí al monto ofrecido, cuanto sería el monto máximo que usted contribuiría anualmente para formular e implementar el Plan durante 5 años?				USD		
7. ¿Si la respuesta es No al monto ofrecido, cuanto sería el monto mínimo que usted contribuiría anualmente para formular e implementar el Plan durante 5 años?				USD		
8. ¿A quién recomendaría usted para que maneje los fondos recaudados? Al Estado venezolano (1)		A una organización privada como una ONG (2)		A una organización indígena (3)	A todas (4)	
9. ¿Qué tan seguro está usted de cancelar el monto al que se ha comprometido)	1 al 20% (1)	21 al 40% (2)	41 al 60% (3)	61 al 80% (4)	81 al 100% (5)	
10. ¿Cómo cancelaría su contribución?		Efectivo (1)		Débito (2)	Transferencia (3)	
11. ¿A qué elemento del Plan a usted le gustaría que destinaran su contribución?	Educación, estudios e investigaciones (1)	Recreación y ecoturismo (2)	Aprovechamiento bellezas escénicas y paisajes (3)	Mantenimiento de la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques (4)	Preservación del idioma indígena (5)	Todos (6)
12. Sexo Masculino (1) Femenino (0)						
13. Edad (años)						
14. ¿Tiene estudios universitarios completados? Si (1) No (0)						
15. ¿Cuánto es la cantidad de miembros de su hogar?						
16. ¿Cuánto es su ingreso mensual, en Bs?	Menor o igual 150 mil (1)	151 mil a 300 mil (2)	301 mil a 700 mil (3)	701 mil a 1 millón quinientos mil (4)	1 millón quinientos mil uno a 3 millones (5)	Mayor de 3 millones (6)

17. ¿Su empleo es? formal (1) o informal (0)			
18. Datos personales	Cédula:	Nombre:	Dirección:

Nota: en la pregunta 5, donde aparece A se colocará por encuesta, los valores 1, 2, 5, 10 o 15 USD, valores provenientes de las encuestas piloto.

Estimación del tamaño de la muestra

Para estimar el tamaño de la muestra, inicialmente se pensó en las poblaciones cercanas a la RFI. Sin embargo, dadas las limitaciones que se exponen más adelante, se usó la población de Venezuela reportada para el año 2018, correspondiente a 28 870 195 habitantes. (Datosmacro.com, 2019)

Seguidamente, se aplicó la siguiente ecuación para conocer el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times \checkmark \cdot N - 1 \checkmark + Z_a^2 \times p \times q} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra,

N el tamaño de la población objetivo,

Z es el valor de confiabilidad (para 95%, Z es 1,96),

p es la probabilidad de éxito (0,5),

q es la probabilidad de no éxito (0,5), y

d es el error (0,05).

Para los valores anteriores, n es 400.

Recolección de datos y procesamiento

Los mecanismos de recolección de datos fueron (Riera, 1994 y OECD, 2018):

Entrevistas personales, las cuales permitieron entregar información detallada, material visual, responder dudas y control del tiempo; los inconvenientes principales fueron el sesgo del entrevistador y el costo. Las entrevistas personales se ejecutaron en el municipio Libertador de la Gran Caracas (178 encuestas) y Ciudad Bolívar (130 encuestas).

Entrevistas telefónicas, las cuales fueron de bajo costo; sus limitaciones: imposible ayudas visuales e información detallada; así como, la baja capacidad de respuestas. Muchos entrevistados no quisieron contestar las preguntas. Las entrevistas telefónicas fueron 24 en el municipio Caroní de Ciudad Guayana.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Encuestas por internet, fueron de bajo costo y se pudieron responder preguntas y presentar información visual. El principal inconveniente es que no todo mundo cuenta con internet, baja cantidad de respuestas, además de las condiciones del internet en el país. Las encuestas por internet fueron 61 (38 de la ciudad de Mérida, 9 de la ciudad de Caracas, 4 de Barquisimeto, 4 de Maturín, 3 de Maracaibo y 3 de Valencia).

Usando las recomendaciones obtenidas por Pedroso, Freitas y Domingos (2007), los datos se procesaron en un solo conjunto de estos, para un total de 393 encuestas.

El procesamiento se ejecutó usando un paquete estadístico que realizara una regresión logística binaria, así como las funciones de estadísticas descriptivas (frecuencias, media, mediana, moda).

Estimación de medidas de bienestar

Las medidas de bienestar se estimaron usando métodos paramétricos y no paramétricos.

En el paramétrico se usó una regresión logística binaria para determinar la mediana de la Disposición a Pagar, DAP, y se analizó la significancia estadística del modelo seleccionado, así como de las respectivas variables.

Usando el método de Kristrom (Herrador y Dimas, 2001) se determinó la media de la DAP por método no paramétrico.

Asimismo, se ejecutó otra prueba no paramétrica, mediante un ajuste estadístico para determinar la función de regresión para los datos de respuestas positivas y negativas para los montos ofrecidos y una probabilidad de DAP de 0,5. Este monto representa el monto de la mediana.

Uso de los resultados

Los valores obtenidos de media y de mediana en el paso anterior, al multiplicarse por la población objetivo (supuesta, para ser conservador, en la Gran Caracas, 5 629 154 habitantes) (Fundación Wikimedia, Inc., 2019) corresponderá al valor de los SE culturales anuales de la RFI. Asimismo, si se considera que los datos recopilados pueden ser extrapolados al país, el monto de la mediana y la media se multiplica por la población de Venezuela, 28 870 195 habitantes.

Al dividirse dichos valores entre la superficie de la RFI, se obtiene el valor anual por hectárea correspondiente a los SE culturales en la Reserva.

4. Limitaciones

Las limitaciones que pueden influir en la aplicabilidad, los méritos, credibilidad y fiabilidad de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la valoración de los servicios ecosistémicos culturales de la RFI fueron:

- Situación país en lo que respecta a las condiciones sociales y económicas de sus habitantes con relación a ingresos; así como a las prioridades de sus gastos.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Posiblemente, como consecuencia de lo anterior, poca gente estuvo dispuesta a contestar las encuestas, por lo que para reunir una muestra representativa se tuvo que unir las respuestas personales, con las de internet y las telefónicas.
- Aunado a lo anterior, las encuestas (sobre todo las personales) tuvieron un costo muy alto. Por encima de lo que se había presupuestado.
- En el mismo contexto, los entrevistados estaban exigiendo dinero para contestar las encuestas.
- Las recurrentes fallas de electricidad, internet y telefónicas redujeron significativamente el número de encuestas a realizar por estos medios.
- La escasez de gasolina, además de incrementar el costo de los traslados para inspeccionar la ejecución de las encuestas, redujo las movilizaciones de los entrevistadores.
- En algunos casos, la inseguridad personal en algunas áreas, redujo la movilización de los entrevistadores.
- Todos los elementos anteriores afectaron la realización de encuestas pilotos adicionales que pudieran haber mejorado la redacción de la encuesta definitiva.

5. Hallazgos y resultados

Tomando en cuenta las limitaciones expresadas anteriormente, a continuación, se muestran los principales hallazgos de la valoración económica de los SE culturales de la RFI.

El primer resultado es que, de las 400 encuestas programadas a ejecutar, solo 393 se consideraron válidas. Las 7 desechadas fueron por falta de llenado de todas las preguntas.

Hallazgos y resultados generales

En lo que respecta a la primera pregunta ¿Considera usted que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada para garantizar el flujo de los beneficios de los bosques para el país? Si (1) No (0); 375 (95,4%) personas respondieron Sí y 18 (4,6%) respondieron No.

Para la segunda pregunta ¿Está usted de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan, con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población? Si (1) No (0); 382 (97,2%) respondieron Sí y 11 (2,8%) contestaron No.

En la tercera pregunta ¿Contribuiría usted monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan? Si (1) No (0); 262 (66,7%) contestó Sí y 131 (33,3%) respondió No.

Las principales razones argumentadas en la pregunta 4 sobre las razones del No, fueron: 37,4% tienen ingresos insuficientes para contribuir; 37,4% indican que debe ser el Estado quien debe financiar el Plan; 9,9% indican que tienen desconfianza de que el Plan se lleve a cabo; 9,2%



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



señalan que prefieren dedicar sus ingresos a otras cosas prioritarias y 6,1% señalan que el Plan debe ser financiado por una agencia internacional.

Los resultados de la DAP de la pregunta 5 al monto ofrecido, por los 262 encuestados que están dispuestos a contribuir con el Plan, los presenta la Tabla 14.3. La base de datos Excel de este capítulo, denominada Kristrom, presenta las bases de esta tabla.

Tabla 14.3. Resultados de la DAP al monto ofrecido de los SE culturales de la RFI.

Resultados de las respuestas al monto ofrecido SE Culturales				
Monto, US\$	Total	Si	No	Prob si
1	50	47	3	0,94
2	60	50	10	0,83
5	48	36	12	0,75
10	69	37	32	0,54
15	35	12	23	0,34

Tales resultados confirman la base del Método de Valoración Contingente, tipo *referéndum*, que mientras mayor sea el monto para pagar, menor será la probabilidad de Sí.

Con respecto a las respuestas a la pregunta 6: Si la respuesta es Sí al monto ofrecido, ¿cuánto sería el monto máximo que usted contribuiría anualmente para formular e implementar el Plan durante 5 años? La media fue 8,27 USD anual, la mediana y la moda 5,00 USD anual.

Asimismo, en la pregunta 7: Si la respuesta es No al monto ofrecido, ¿cuánto sería el monto mínimo que usted contribuiría anualmente para formular e implementar el Plan durante 5 años? La media fue 4,30 USD anual, la mediana 4,50 USD anual y la moda 5,00 USD anual.

Para ambos casos la moda coincide en 5,00 USD anual durante 5 años.

En relación con la pregunta 8: ¿A quién recomendaría usted para que maneje los fondos recaudados? 45,4% recomiendan a una ONG; 23,7% recomiendan que lo hagan en conjunto una ONG con el Estado Venezolano y una organización indígena; 17,6% prefiere que lo haga una organización indígena, mientras que 13,4% se decanta por el Estado Venezolano.

Con respecto a la pregunta 9: ¿Qué tan seguro está usted de cancelar el monto al que se ha comprometido? 38,9% están seguro entre un 81 al 100%; 29% entre 61 al 80%; 20,6% seguro entre 41 al 60%; 9,2% entre 21 al 40% de seguridad y 2,3 % entre 1 al 20%.

Para la pregunta 10: ¿Cómo cancelaría su contribución? 77,5% indicó mediante transferencia; 12,2% en efectivo y 10,3% débito.

En relación con la pregunta 11: ¿A qué elemento del Plan a usted le gustaría que destinaran su contribución? 40,8% le gustaría que atendiera educación, estudios e investigaciones, más recreación y ecoturismo, aprovechamiento de bellezas escénicas y paisajes, mantenimiento de la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena. 35,5% prioriza educación, estudios e investigaciones. 11,1% a recreación y ecoturismo.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



8,8% a bellezas escénicas y paisajes. 3,1% y 0,8% prioriza mantenimiento de la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena, respectivamente.

La distribución del sexo para toda la muestra es 49,1% femenino y 50,9% masculino. Con respecto a los que van a contribuir monetariamente con el Plan 51,5% es femenino y 48,5% masculino.

La similitud de la variable sexo entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

En lo que respecta a la edad, para toda la muestra, la mínima fue de 17 años, la máxima 82 y la media 40 años. Con respecto a los que van a contribuir monetariamente con el Plan, la mínima fue de 17 años, la máxima 79 y la media 38 años.

La similitud de la edad entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

Respecto a la pregunta 14: ¿Tiene estudios universitarios completados? Si (1) No (0), para la muestra general 69,2% son profesionales y 30,8% no tienen estudios universitarios. Con respecto a los que van a contribuir monetariamente con el Plan, 72,1% tienen estudios universitarios, mientras 27,9% no tienen.

La similitud sobre el nivel educativo entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

En la pregunta 15: ¿Cuánto es la cantidad de miembros de su hogar? Para la muestra general, fue 1 el valor mínimo y 9 el máximo. La media fue 4 (3,73). La moda fue 4. Para los que afirmaron contribuir monetariamente con el Plan se encontraron valores similares.

La similitud en la cantidad de miembros entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

Con respecto a la pregunta 16: ¿Cuánto es su ingreso mensual, en Bs? Para la encuesta general (cambio del dólar 1 USD igual a 29 800 VES aproximadamente), el 32,8% expresó estar en el rango entre 301 mil a 700 mil VES; el 27,2% entre 151 mil a 300 mil; el 17,8% entre 701 mil a un millón quinientos mil; el 10,2% entre 1,5 a 3 millones; el 8,7% menor a 150 mil y el 3,3% mayor a 3 millones de VES.

En lo que respecta a la respuesta a la pregunta 16, para los que respondieron afirmativamente sobre su contribución monetaria al Plan, el rango de ingresos fue: el 34,7% expresó estar en el rango entre 301 mil a 700 mil VES; el 24,8% entre 151 mil a 300 mil; el 19,5% entre 701 mil a un millón quinientos mil; el 9,9% entre 1,5 a 3 millones; el 6,9% menor a 150 mil y el 4,4% mayor a 3 millones de VES.

La similitud sobre los rangos de ingreso entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

Respecto a la pregunta 17: ¿Su empleo es? Formal (1) o Informal (0). Para la muestra general, el 79,6% indicó que era Formal y el 20,4 señaló que era Informal. Para los que respondieron afirmativamente sobre su contribución monetaria al Plan, el 82,1% indicó trabajo formal y el 17,9% señaló que era informal.

La similitud sobre la condición del empleo entre la encuesta general y para los que manifestaron que estaban dispuestos a contribuir monetariamente con el Plan, pareciera indicar que dicha variable no influye en la condición de querer contribuir con el Plan.

La pregunta 18 determinó la ubicación de los encuestados, encontrándose, como antes se había mencionado, encuestas personales en el municipio Libertador de la Gran Caracas (178 encuestas) y Ciudad Bolívar (130 encuestas). Las entrevistas telefónicas fueron 24 en el municipio Caroní de Ciudad Guayana. Las encuestas por internet fueron 61 (38 de la ciudad de Mérida, 9 de la ciudad de Caracas, 4 de Barquisimeto, 4 de Maturín, 3 de Maracaibo y 3 de Valencia).

Como se puede observar hubo una gran dispersión de las encuestas debido a la negativa de los entrevistados a responder las mismas. Solicitaban en algunos casos una compensación monetaria.

Hallazgos y resultados de las medidas de bienestar

- a) Determinación no paramétrica usando el procedimiento de Kristrom. La Tabla 14.4 a continuación presenta el procedimiento de Kristrom

Tabla 14.4. *Procedimiento de Kristrom*

Estimación no paramétrica de Kristrom								
Grupo de monto	Monto, US\$/año	Rango de montos	Punto medio de montos	Total respuestas si	Total observaciones	1-Fj	Pj	Estimación Kristrom
j				Yj	Total j	Yj/Total j	(1-Fj-1)-(1-Fj)	DAP(Pj*Puntos medios)
nd	0	0	0	Nd	Nd	1	nd	0
1	1	0 a 1	0,5	47	50	0,94	0,06	0,03
2	2	1 a 2	1,5	50	60	0,83333333	0,10666667	0,16
3	5	2 a 5	3,5	36	48	0,75	0,08333333	0,29166667
4	10	5 a 10	7,5	37	69	0,53623188	0,213768116	1,60326087
5	15	10 a 15	12,5	12	35	0,34285714	0,193374741	2,417184265
6	20	15 a 20	17,5	0	0	0	0,342857143	6
La media se encontró sumando los DAP							Media DAP(suma)	10,5021118
La mediana fue encontrada por interpolación lineal donde Yj/Total j es igual a 0,5							Mediana DAP	10,93683084

Con dicho procedimiento la media del monto anual es 10,50 USD/persona. Interpolando se encontró una mediana anual de 10,94 USD por persona.

- b) Determinación no paramétrica usando una función de regresión

La Tabla 14.5 presentada a continuación, muestra la base para determinar la mediana de la DAP por persona.

Tabla 14.5. Base para determinar la mediana usando la regresión de mejor ajuste

Resultados de las respuestas al monto ofrecido SE Culturales				
Monto, US\$	Total	Si	No	Prob si
1	50	47	3	0,94
2	60	50	10	0,83
5	48	36	12	0,75
10	69	37	32	0,54
15	35	12	23	0,34

Usando la Tabla anterior se construyó la Figura 14.6 y se determinó el mejor ajuste de los datos.

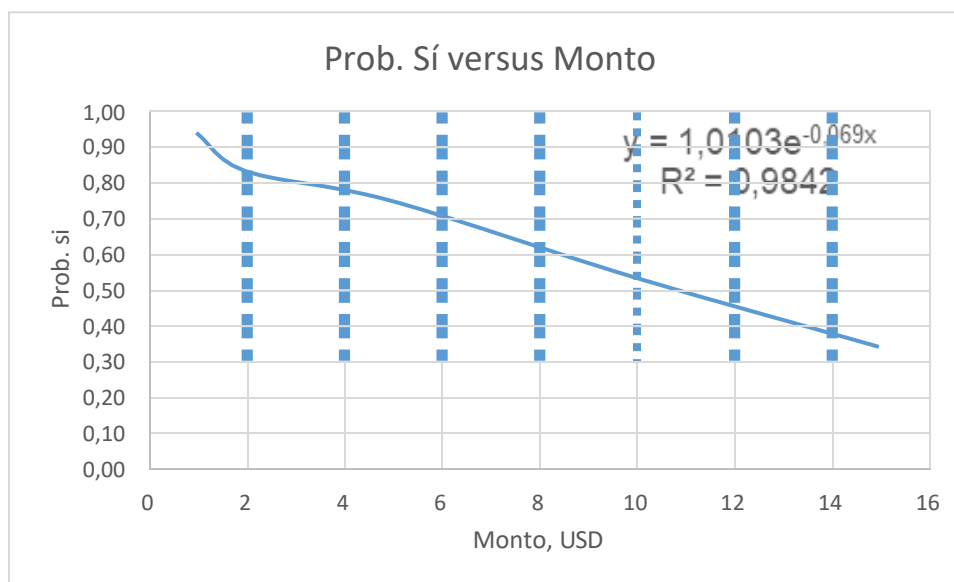


Figura 14.6. Ajuste Probabilidad de Sí vs. Monto

Utilizando un valor de y (probabilidad de Sí) de 0,5 al cual corresponde el valor de la mediana, se encontró un monto anual de la misma de 10,19 USD/persona.

c) Determinación paramétrica usando un modelo de regresión logística binaria

c1) Determinación paramétrica usando un modelo de regresión logística binaria utilizando la variable Monto como única variable independiente y la probabilidad de Sí al monto ofrecido como variable dependiente.

Utilizando los datos de las encuestas presentados en la base de datos de este apartado, se calculó el valor de la mediana resultante de una regresión logística binaria.

Las ecuaciones que se usan ha sido presentadas anteriormente, y se designan como ecuación 1 y 2, según:

$$\text{Prob Sí} = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

$$Z = \beta_0 - \beta_1 * \text{monto} + \text{Error} \quad (\text{Ecuación 2})$$

El valor de la mediana corresponde al punto donde la Probabilidad Sí es 0,5. Es decir donde Z es igual a 0.

A partir de ahí, el monto de la mediana es

$$\text{monto} = \frac{\beta_0}{\beta_1} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En orden de validar la significancia estadística del modelo propuesto, se verificaron las siguientes salidas:

Tabla 14.6. *Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 1.*

Valores de los coeficientes Chi-cuadrado

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	48,805	1	0,000
	Block	48,805	1	0,000
	Model	48,805	1	0,000

Como la significancia de Chi Cuadrado para el modelo es menor de 5%, indica que la variable independiente Monto explica a la variable dependiente Probabilidad de Sí.

Tabla 14.7. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 2.

Valores comparados del coeficiente R²

Step	-2 Log likelihood	R ² Cox & Snell	R ² Nagelkerke
1	273,625 ^a	0,170	0,240

a. La estimación finalizó en la iteración número 4, dado que los parámetros estimados cambiaban en menos de 0,001.

Las R² de Cox & Snell y de Nagelkerke indican que la variable independiente Monto explica entre 17 a 24% a la variable dependiente Probabilidad de Sí.

Tabla 14.8. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 3.

Tabla de Clasificación^a

Observados	Predecida		
	Disposición a pagar		Porcentaje Correcto
	no	si	
Paso 1 Disposición a pagar no	23	57	28,8
si	12	170	93,4
Overall Percentage			73,7

a. El valor de corte es 0,500

El modelo se puede considerar adecuado pues el porcentaje correcto de predicción es 73,7%, superior a 50%.

Tabla 14.9. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 4.

Variables en la Ecuación

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a MONTO	-0,203	0,031	41,513	1	,000	0,817
Constante	2,237	0,282	62,995	1	,000	9,366

a. Variable(s) ingresada en el paso 1: MONTO.

El signo que acompaña a la variable monto es negativo, indicando que a mayor monto la probabilidad de si es menor, de acuerdo con la hipótesis formulada.

La significancia de la variable monto es menor de 5%, lo cual indica que la probabilidad de que tome un valor 0 es muy baja, permitiendo realizar predicciones con el modelo.

El modelo resultante es



$$\text{Prob Sí} = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Donde

$$Z = 2,237 - 0,203 * \text{monto} + \text{Error}$$

Ecuación (6)

$$\text{Monto} = \frac{2,237}{0,203}$$

Si Prob de Sí es 0,5; entonces Z es igual a 0, por lo que

Resultando en un valor de la mediana igual por persona de 11,02 USD anual.

c2) Determinación paramétrica usando un modelo de regresión logística binaria utilizando las variables: Monto, Recomendación de manejo de los fondos, Seguridad de cancelación de los montos, Método de cancelación de la contribución y el Elemento prioritario al cual debe ir dirigida la contribución del plan como variables independientes, y, la Probabilidad de Sí al monto ofrecido, como variable dependiente.

En orden de validar la significancia estadística del modelo propuesto, se verificaron las siguientes salidas:

Tabla 14.10. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 5.

Valores de los coeficientes Chi-cuadrado

	Chi-square	df	Sig.
Step 1 Step	72,791	15	0,000
Block	72,791	15	0,000
Model	72,791	15	0,000

Como la significancia de Chi Cuadrado para el modelo es menor de 5%, indica que las variables independientes Monto, Recomendación de manejo de los fondos, Seguridad de cancelación de los montos, Método de cancelación de la contribución y el Elemento prioritario al cual debe ir dirigida la contribución del plan, explican a la variable dependiente Probabilidad de Sí.

Tabla 14.11. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 6.

Valores comparados del coeficiente R²

Step	-2 Log likelihood	R ² Cox & Snell	R ² Nagelkerke
1	249,639 ^a	0,243	0,343

a. La estimación finalizó en la iteración número 5, dado que los parámetros estimados cambiaban en menos de 0,001.

Las R^2 de Cox & Snell y de Nagelkerke indican que las variables independientes Monto, Recomendación de manejo de los fondos, Seguridad de cancelación de los montos, Método de cancelación de la contribución y el Elemento prioritario al cual debe ir dirigida la contribución del plan, explican entre 24,3 a 34,3% a la variable dependiente Probabilidad de Sí.

Tabla 14.12. Validación de la significancia estadística del modelo. Salida 7.

Tabla de Clasificación^a

Observado	Predecida		
	Disposición a pagar		Porcentaje Correcto
	no	si	
Step 1 Disposición a pagar No	46	34	57,5
Sí	22	160	87,9
Overall Percentage			78,6

a. El valor de corte es 0,500

El modelo se puede considerar adecuado pues el porcentaje correcto de predicción es 78,6%, superior a 50%.

Dado a que este modelo es mejor que al anterior, donde solo la variable independiente es el Monto, se selecciona para orientar las predicciones.

Tabla 14.13. Codificación de las variables categóricas.

Categorical Variables Codings

	Frequency	Parameter coding				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Elemento prioritario						
Educación, estudios e investigación	93	1,000	.000	.000	.000	.000
Recreación y ecoturismo	29	.000	1,000	.000	.000	.000
Bellezas escénicas y paisajes	23	.000	.000	1,000	.000	.000
Herencia cultural	8	.000	.000	.000	1,000	.000
Idioma indígena	2	.000	.000	.000	.000	1,000
Todos	107	.000	.000	.000	.000	.000
1-20%	6	1,000	.000	.000	.000	.000
21-40%	24	.000	1,000	.000	.000	.000
41-60%	54	.000	.000	1,000	.000	.000
61-80%	76	.000	.000	.000	1,000	.000
81-100%	102	.000	.000	.000	.000	.000
Organización indígena	35	1,000	.000	.000	.000	.000
Todas	119	.000	1,000	.000	.000	.000
Efectivo	46	.000	.000	1,000	.000	.000
Debito	62	.000	.000	.000	.000	.000
Transferencia	32	1,000	.000	.000	.000	.000
	27	.000	1,000	.000	.000	.000
	203	.000	.000	.000	.000	.000

La codificación de las variables categóricas Recomendación de manejo de los fondos, Seguridad de cancelación de los montos, Método de cancelación de la contribución y el Elemento prioritario al cual debe ir dirigida la contribución del plan, se observa en la información anterior.

Tabla 14.14. *Variables en la ecuación*

		Variables in the Equation					
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	MONTO	-.223	.035	41,523	1	.000	.800
	RMF			.893	3	.827	
	RMF(1)	.458	.578	.628	1	.428	1,581
	RMF(2)	.163	.429	.144	1	.704	1,177
	RMF(3)	-.067	.510	.017	1	.895	.935
	SCM			1,843	4	.765	
	SCM(1)	.790	1,162	.462	1	.497	2,203
	SCM(2)	-.503	.540	.865	1	.352	.605
	SCM(3)	.167	.476	.123	1	.726	1,182
	SCM(4)	-.145	.401	.130	1	.719	.865
	MCC			8,929	2	.012	
	MCC(1)	-.194	.474	.168	1	.682	.824
	MCC(2)	-1,549	.518	8,928	1	.003	.212
	EPR			9,706	5	.084	
	EPR(1)	1,095	.411	7,113	1	.008	2,990
	EPR(2)	.643	.594	1,169	1	.280	1,902
	EPR(3)	.790	.636	1,543	1	.214	2,204
	EPR(4)	2,585	1,254	4,251	1	.039	13,261
	EPR(5)	-.328	1,578	.043	1	.835	.720
	Constant	1,985	.486	16,678	1	.000	7,277

a. Variable(s) entered on step 1: MONTO, RMF, SCM, MCC, EPR.

Las variables que son significativas en el modelo por ser menor su significancia al 5% son Monto, MCC (Modo de cancelación de la contribución codificada como cero), MCC2 (Modo de cancelación de la contribución codificada como dos), EPR1 (Elemento prioritario al cual debe ir dirigido el Plan codificado como 1) y EPR4 (Elemento prioritario al cual debe ir dirigido el Plan codificado como 4).

De acuerdo con los signos, el monto tiene signo negativo, indicando que a mayor monto ofrecido la Probabilidad de Sí al monto ofrecido es menor. MCC (transferencia) no se incluye pues toma un valor 0. MMC2 (modo de cancelación débito) tiene signo negativo, lo cual significa que mientras más se seleccione débito como modo de pago, la Probabilidad de Sí es menor. EPR1 (elemento prioritario educación, estudios e investigación) tiene signo positivo, indicando que mientras más se destine la contribución a ese elemento prioritario, la Probabilidad de Sí es mayor.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



EPR4 (elemento prioritario herencia cultural) tiene signo positivo, indicando que mientras más se destine la contribución a ese elemento prioritario, la Probabilidad de Sí es mayor.

De acuerdo con lo anterior, el modelo, para las variables significativas es:

$$Z = 1,985 - 0,223 * \text{Monto} - 1,549 * \text{MCC2} + 1,095 * \text{EPR1} + 2,585 * \text{EPR4}$$

(Ecuación 7)

Cuando EPR4 sea cero, MCC2 sea 1 y EPR1 también 1, entonces el monto será:

$$\text{Monto} = (1,985 - 1,549 * 1 + 1,095 * 1) / 0,223$$

Es decir, 6,87 USD por persona anual.

Asimismo, cuando EPR1 sea cero, MCC2 sea 1 y EPR4 también 1, entonces el monto será:

$$\text{Monto} = (1,985 - 1,549 * 1 + 2,585 * 1) / 0,223$$

Lo que equivale a 13,55 USD por persona anual.

Entretanto, cuando EPR4 sea cero, MCC2 también 0 y EPR1 sea 1, el monto será:

$$\text{Monto} = (1,985 + 1,095 * 1) / 0,223$$

Dando como resultado 13,81 USD por persona anual.

Luego, con EPR1 cero, MCC2 también 0 y EPR4, 1, el monto será:

$$\text{Monto} = (1,985 + 2,585 * 1) / 0,223$$

Es decir, 20,5 USD por persona anual.

Para determinar el valor anual por persona de los SE culturales de la RFI, mediante la determinación paramétrica usando un modelo de regresión logística binaria siendo las variables Monto, Recomendación de manejo de los fondos, Seguridad de cancelación de los montos, Método de cancelación de la contribución y el Elemento prioritario al cual debe ir dirigida la contribución del plan, las variables independientes, y, la Probabilidad de Sí al monto ofrecido como variable dependiente, se usará el más conservador, es decir, 6,87 USD.

Cálculo del valor de los SE culturales de la RFI

La Tabla 14.15 presenta los cálculos del valor de los SE culturales de la RFI.

Tabla 14.15. *Valor de los SE culturales de la RFI.*

Cálculo del valor de los SE culturales de la RFI								
Método usado para calcular el valor anual por persona	Valor US\$/persona por año	Población de la Gran Caracas	Población Venezuela	Superficie estimada de la RFI, Has	Valor total de los SE culturales usando la población de la Gran Caracas	Valor total de los SE culturales usando la población de Venezuela	Valor por hectárea de los SE culturales usando la población de la Gran Caracas	Valor por hectárea de los SE culturales usando la población de Venezuela
Kristrom, media	10,5	5629154	28870195	3820000	59106117	303137048	15,47	79,36
Kristrom, mediana	10,94	5629154	28870195	3820000	61582944,8	315839933	16,12	82,68
No paramétrica, regresión, mediana	10,19	5629154	28870195	3820000	57361079,3	294187287	15,02	77,01
RLB var. Indp. Monto, mediana	11,02	5629154	28870195	3820000	62033277,1	318149549	16,24	83,29
RLB var. Indp. Monto y otras, mediana	6,87	5629154	28870195	3820000	38672288	198338240	10,12	51,92
Promedio de montos máximos y mínimos declarados	6,29	5629154	28870195	3820000	35407378,7	181593527	9,27	47,54
Promedio de montos	9,30				52360514,1	268540930	13,71	70,30

Si se usa la población de la Gran Caracas como población objetivo, los SE culturales de la RFI tienen un valor que oscila entre 35 407 378,5 y 62 083 277,1 USD/año. El valor medio es 52 360 514,1 USD/año.

Si se usa la población de Venezuela como población objetivo, los SE culturales de la RFI tienen un valor que oscila entre 181 593 527,0 y 318 149 549,0 USD/año. El valor promedio es 268 540 930,0 USD/año.

Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 9,27 y 16,24 USD/ha al año si se usa la Gran Caracas como población objetivo. El valor medio es 13,71 USD/ha al año.

Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 47,54 y 83,29 USD/ha al año si se usa Venezuela como población objetivo. El valor promedio es 70,30 USD/ha al año.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



6. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La RFI presenta los siguientes servicios ecosistémicos culturales: Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes, herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y preservación del idioma indígena. Educación, estudios e investigaciones, recreación y ecoturismo, bellezas escénicas y paisajes corresponden a los valores de uso directo no extractivo. Entretanto, la herencia cultural de prácticas ancestrales de manejo de los bosques y la preservación del idioma indígena son valores de no uso de legado.
- El único método disponible para valorar valores de no uso es la valoración contingente.
- Los valores medio de los SE culturales de la RFI oscilan entre 52 360 514,1 y 268 540 930 USD/año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente. Expresados en valores por superficie de la RFI, los SE culturales tienen un valor que oscila entre 13,71 y 70,30 USD/ha al año, si se usa la Gran Caracas y Venezuela como poblaciones objetivo, respectivamente.
- La Disposición A Pagar anual por persona por los SE culturales de la RFI está alrededor de 9,30 USD. Esto representa el 0,04% del Producto Interno Bruto anual por persona del año 2019.
- El 95,4% de las personas entrevistadas considera que la Reserva Forestal Imataca debe ser conservada para garantizar el flujo de los beneficios de los bosques para el país. Mientras, el 97,2% está de acuerdo con que se lleve a cabo un Plan, con la participación de la población indígena que habita en la Reserva, para contrarrestar las amenazas de las actividades agrícolas, forestales y mineras no controladas sobre dicha población y mantener los SE culturales. Sin embargo, sólo el 66,7% contribuiría monetariamente, con una cantidad fija anual, para que se formule e implemente el Plan.
- Las principales razones argumentadas sobre las razones del no fueron ingresos insuficientes; que debe ser el Estado quien debe financiar el Plan y que tienen desconfianza de que el Plan se lleve a cabo.
- Las variables socioeconómicas sexo, edad, ingresos, nivel educativo, número de miembros del hogar y formalidad del empleo no resultaron significativas respecto a la Disposición A Pagar.
- La edad promedio de los que participaron en las encuestas fue 40 años. El número promedio de miembros del hogar 4.
- El sexo de los que participaron en las encuestas fue 49,1% femenino y 50,1% masculino. 69,2% tienen estudios universitarios completos, mientras que 30,8% no. 77,8% de los encuestados se sitúan en un nivel de salario mensual entre 150 000 a 1,5 millones de VES. 60% están entre 151 000 a 700 000 VES mensuales. 79,6% de los encuestados tienen empleo formal, 20,4% poseen informal.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- El 45,4% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, recomiendan a una ONG para el manejo de los fondos. El 23,7% recomiendan una fusión entre ONG, el Estado Venezolano y una organización indígena.
- Casi el 70% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, tienen una seguridad de pago mayor al 60%. Una seguridad de pago mayor a 80% la tienen 38,9%. El 77,5% prefiere hacer el pago por transferencia.
- El 40,8% de los que están dispuestos a contribuir con el Plan, indicaron que todos los elementos de los SE culturales de la RFI eran prioritarios. El 35,5% indicó que educación, estudios e investigaciones eran prioritarios. La herencia cultural y el idioma indígena apenas fue prioritaria para un 3,9% de los encuestados.
- Aunque no se probó, el clima social y económico del país, sesgó los resultados encontrados. Los mismos deben ser tomados como órdenes de magnitud para orientar la planificación de conservación de la RFI, más no como argumento de la factibilidad de proyectos específicos.

Recomendaciones

- Hasta tanto no cambien las condiciones sociales y económicas del país, los resultados de aplicación del método de valoración contingente para estimar valores de los SE culturales de la RFI, no estarán exentos de sesgos.
- Los resultados obtenidos pueden ser usados para justificar planificar la conservación de la RFI.
- En orden de abaratar los costos de las encuestas, las mismas pueden ser realizadas por internet. Se recomienda grabar video y audio que permita a los encuestados por este medio, una mayor comprensión del cuestionario.
- Se debe dar a conocer la importancia de la herencia cultural y el idioma indígena para la conservación de la RFI.

7. Bibliografía

Cameron, R. y Carson, R. 1989. *Using survey to value public goods: the contingent valuation method. Resources for the future*. Washington, D.C. USA.

Datosmacro.com. 2019. *Cae la población en Venezuela*. (Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com>demografia>poblacion>venezuela>). Acceso: 13 de octubre de 2019.

Fundación Wikimedia, Inc. 2019. *Gran Caracas*. (Disponible en: https://es.wikipedia.org>wiki>Gran_Caracas). Acceso: 11 de octubre de 2019.

Herrador, D. y L. Dimas. 2001. *Valoración económica del agua para el área metropolitana de San Salvador*. PRISMA. El Salvador.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Johnston, R., Boyle, K., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T., Hanemann, W., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R. y Vossler, C. 2017. *Contemporary guidance for stated preference studies*. JAERE. Volume 4, number 2.

Masiero, M., Animon, I., Barua, S.K, Boscolo, M., Matta, J.R. y Pettenella, D. 2019. *Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers*. Rome, FAO. Forestry Working Paper No. 11, 216 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Minambiente. 2018. *Guía de Aplicación de la Valoración Económica Ambiental*. Bogotá, D.C. Colombia. Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.

OECD. 2018. *Cost benefits analysis and the environment. Further development and policy use*. Chapter 4. Contingent valuation method. OECD.

Pearce, D.W., Mourato, S., Navrud, S. y Ready, R.C. 2002. *Review of existing studies, their policy use and future research needs* en Navrud, S. y Ready, R.C. (eds.) *Valuing Cultural Heritage. Applying Environmental Valuation Techniques to Historical Buildings, Monuments and Artifacts*, Cheltenham, UK y Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Pedroso, M., Freitas, H. y Domingos, T. 2007. *Testing for the survey mode effect on contingent valuation data quality: A case study of web based versus in-person interviews*.

Riera, P. 1994. *Manual de valoración contingente*. Chile. CEPAL.

Throsby, D. 2003. *Determining the Value of cultural goods: How much (or how little) does contingent valuation tell us?* Journal of Cultural Economics, 27, 275-285.