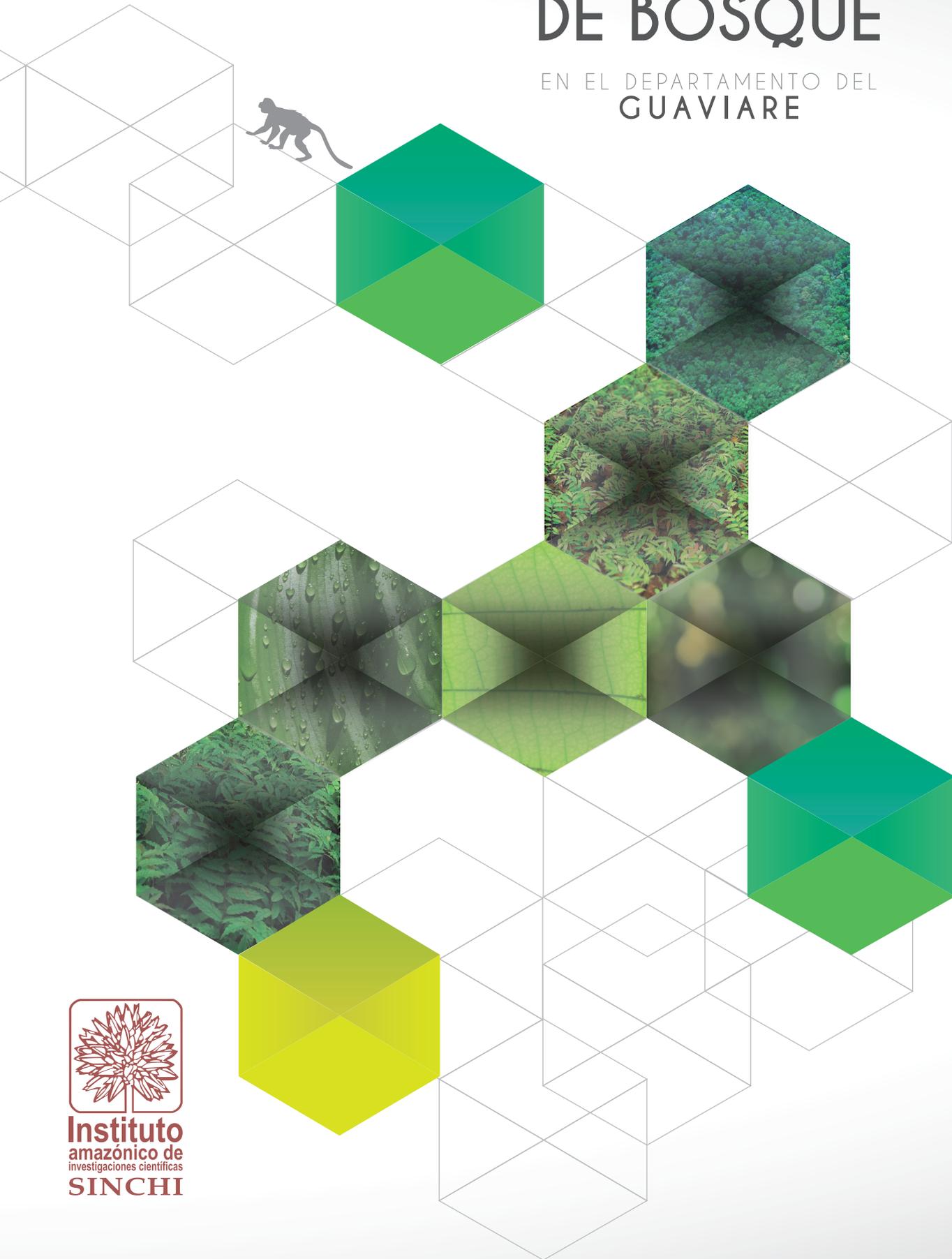


RELICTOS DE BOSQUE

EN EL DEPARTAMENTO DEL
GUAVIARE



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

Barrera García, Jaime Alberto; Castro Rodríguez, Sandra Yaneth y Giraldo Benavides, Bernardo (Comp.)

Relictos de bosque del departamento del Guaviare/
Jaime Alberto Barrera García, Sandra Yaneth Castro
Rodríguez, Bernardo Giraldo Benavides (Comp.)
Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico
de Investigaciones Científicas SINCHI, 2018

1. ECONOMÍA AMBIENTAL 2. PRODUCTOS FORESTALES
NO MADERABLES 3. VEGETACIÓN 4. FITOGEOGRAFÍA
6. AMAZONIA COLOMBIANA

ISBN 978-958-5427-07-5

©Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Primera edición: junio de 2018

Revisión técnica: Orlando Martínez
Jairo García Lozano

Coordinación de la producción editorial:
Diana Patricia Mora Rodríguez

Corrección de estilo, diseño, diagramación e impresión:
DaVinci Publicidad y Medios

Fotos: Ángela García Jiménez, Pilar Eugenia Buchelli León,
Wilson Espinosa González, Jorge Luis Contreras, Lina Katherine
Vergara Chaparro, Carlos Anibal Acosta Suárez, Shirley Vivian
Daniela Fonseca Peña, Karen Andrea López Gaitán

Mapas: Paola Andrea Mateus Clavijo, Fredy Neira,
Marinela Valencia

Reservados todos los Derechos

Disponible en: Instituto SINCHI,
Calle 20 No. 5-44 Tel.: 4442084 www.sinchi.org.co

Impreso en Colombia / Printed in Colombia

INSTITUTO SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General
CARLOS ALBERTO MENDOZA VÉLEZ
Subdirector Administrativo y Financiero
MARCO EHRLICH
Subdirector Científico y Tecnológico

Investigadores principales
Jaime Alberto Barrera García
Sandra Yaneth Castro
Bernardo Giraldo
Mauricio Zubieta

Equipo técnico (Investigadores)
Ángela García Jiménez
Paola Andrea Mateus Clavijo
Pilar Eugenia Buchelli León
Wilson Espinosa González
Carolina Barbero Cárdenas
María Alejandra Pinzón
Jorge Luis Contreras
Carlos Moreno
Marinela Valencia
Fredy Neira
Juan David Dueñas
Katherine Gómez
Alecsander Barreto Beltrán
Hilda María Betancurt Toro
Faver Castañeda Alvarado
Heiler Castañeda Alvarado
Gladys Gavilán Reina
Mayerly Alexandra López Barrera
Ingrid Johana Medina Días

Mireya Pérez Suárez
Héctor Andrés Pinzón Castro
Wilman Pinzón Campos
Manuel Antonio Valdés
Enerieth Beatriz Viuche
Andrés Felipe Acevedo Laguna
Edwin Alexander Barreto González
José Ferney Cárdenas Romero
Christian Stivel Gurumende Ceballos
Dimar Antonio López Bernal
Oscar Fabián Marulanda Gavilán
Neyla Moreno Castro
Érica Pinzón Sánchez
Yaqueline Pinzón Sánchez
Laureano Andrés Pinzón Sánchez
Elbenis Quintero Ramírez
Sandra Patricia Rueda Pérez
Wilfredo Salamanca Perilla
Héctor Fabio Valencia Zapata
Luis Esteban Vargas Calderón
Jhoan Estevan Vázquez Salazar

Tesistas y practicantes
Lina Katherine Vergara Chaparro
Carlos Anibal Acosta Suárez
Shirley Vivian Daniela Fonseca Peña
Karen Andrea López Gaitán
Álvaro Camilo Yara Contreras
Sara María Cruz Ospina
Javier Gustavo Rojas Ortiz
Juan Jair Vitar Mendoza
Luisa Quiroga

GOBERNACIÓN DEL GUAIVARE

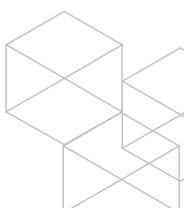
NEBIO DE JESÚS ECHEVERRY CADAVID
Gobernador departamento del Guaviare 2016-2019
XISMENA MARTÍNEZ
**Directora Departamento Administrativo
de Planeación Departamental**
JOSE OCTAVIANO RIVERA MONCADA
Gobernador departamento del Guaviare 2012-2015

ASOCIACIONES

FLAVIANO MAHECHA ÁVILA
Representante Legal Asoprocegua
MARIO DE JESÚS GUEVARA
Representante Legal Asoprocaucho
NOHORA NUBIA BAQUERO NIETO
Representante Legal Cooagroguaivare
HÉCTOR PINZÓN
Ex Representante Legal Cooagroguaivare



MINAMBIENTE



RELICTOS DE BOSQUE

EN EL DEPARTAMENTO DEL

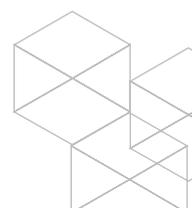
GUAVIARE

Los Relictos de Bosque en el Guaviare, Importancia Ambiental
y Potencial de Uso y Aprovechamiento para el Desarrollo Rural
Regional



Índice General

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | <i>Caracterización vegetal de los relictos de bosque del área intervenida del departamento del Guaviare. Sandra Castro, Ángela García, Carlos Acosta, Karen López, Daniela Fonseca, Jorge Contreras, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera</i> | 10 |
| 2. | <i>Diversidad funcional y su relación con la provisión de SE en bosques altos densos del Guaviare. Pilar Bucheli, Jaime Barrera, Sandra Castro, Bernardo Giraldo.....</i> | 34 |
| 3. | <i>Estado actual de la oferta, aprovechamiento y comercialización de maderas nativas en el departamento del Guaviare. Ángela García, Sandra Castro, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera.....</i> | 48 |
| 4. | <i>Valoración de productos no maderables en relictos de bosque del departamento del Guaviare. Ángela García, Sandra Castro, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera.....</i> | 68 |
| 5. | <i>Perfil de uso de 5 plantas presentes en relictos de bosque del departamento del Guaviare. Karen Gallego, Marcela Carrillo, Sandra Castro, Angela Garcia y Jaime Barrera.....</i> | 90 |
| 6. | <i>Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de relictos de bosque en áreas intervenidas del departamento del Guaviare. Luisa Fernanda Pinzón, Pilar Buchelli, Sandra Castro y Jaime Barrera.</i> | 102 |
| 7. | <i>Rasgos Hidrológicos asociados a la arquitectura de los bosques altos densos del Guaviare. Luisa Pinzón, Jaime Barrera, Juan Jair Vitar, Sandra Castro y Bernardo Giraldo.....</i> | 116 |
| 8. | <i>Caracterización y tipificación de los sistemas de producción en Guaviare. Marfi Daza, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo</i> | 136 |
| 9. | <i>Mapeo a escala 1:100.000 de zonas prioritarias para el manejo de relictos de bosque natural y recuperación de conectividades en el departamento del Guaviare. Andrea Mateus, Sandra Castro, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera</i> | 154 |
| 10. | <i>Valoración económica de servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico a nivel predial en Guaviare. Carlos Alberto Moreno Díaz, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo.....</i> | 166 |
| 11. | <i>Valoración económica de dos servicios ecosistémicos (carbono, agua) en el Guaviare. Carlos Alberto Moreno Díaz, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo.....</i> | 192 |
| 12. | <i>Articulación de instrumentos de conservación para enfrentar la deforestación en la región del Guaviare, Colombia. Juan David Dueñas Ramírez</i> | 214 |
| 13. | <i>Evaluación de la amenaza climática como herramienta para la gestión ambiental en el departamento del Guaviare - Colombia. Marinela Valencia Giraldo y Jaime Barrera</i> | 232 |
| 14. | <i>Propuesta de zonificación ambiental en la zona de influencia de los relictos de bosque, municipios de San José, El Retorno y Calamar, Guaviare. Fredy Neira y Jaime Barrera.....</i> | 244 |
| | <i>Anexos</i> | 253 |



Presentación

Los sistemas de producción desarrollados en la región amazónica hasta el momento se han caracterizado por ignorar las potencialidades y debilidades de los ecosistemas regionales, las formas culturales de uso y manejo de los recursos naturales y las condiciones económicas que implica el aislamiento del centro del país. Es así como en la Amazonia y en especial en departamentos como el Guaviare, las técnicas de uso del suelo y manejo de los recursos naturales no representan una garantía para la preservación productiva regional, por el mismo desconocimiento sobre la fragilidad de los ecosistemas ante la presencia de una infraestructura socioeconómica que favorece las prácticas inadecuadas sobre los recursos naturales.

Gracias al Fondo Nacional de Regalías para Ciencia, Tecnología e Innovación 2013 y el concurso de la Gobernación del Guaviare y tres organizaciones de productores: Asoprocegua, Asoprocaucho y Cooagroguviare, se formuló y ejecutó el proyecto *Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*. Este proyecto buscaba la reducción en la degradación de recursos y la disminución de la oferta de bienes y servicios ecosistémicos de coberturas boscosas en el Guaviare. En conjunto con las organizaciones y productores se promovió, gracias al conocimiento científico, procesos y emprendimientos adecuados a las condiciones de la región, que aportan a la reducción de la pérdida de la biodiversidad de especies y hábitats y a la promoción del equilibrio en los componentes del ecosistema boscoso fragmentado en el Guaviare. Como resultado final se generó, a su vez, mayor sensibilidad política y social sobre la magnitud y efectos de los procesos de degradación ambiental y los beneficios del manejo forestal sostenible.

El modelo gestionado de articulación, ciencia, ente territorial y comunidad permitió durante la ejecución y con los resultados expuestos en este documento, comprender la dinámica de esta zona, donde revertir las tendencias de pérdida de bosques y de biodiversidad asociada requiere una gestión integral e innovadora que abarque los sistemas de gobierno local, la producción, la planificación sectorial y la conservación, en una concepción

más amplia del manejo del territorio, donde se exploren mecanismos para fortalecer la gobernanza local y establecer relaciones horizontales efectivas entre actores.

Introducción

El departamento del Guaviare está ubicado en la parte oriental de Colombia y al norte de la Amazonia colombiana, factor este que hace que comparta características de transición entre la región Amazónica y la Orinoquia. Tiene una extensión de 5.552.727 ha (SINCHI, 2010). El departamento del Guaviare se extiende desde los 0° 32' hasta los 3° 09' latitud norte y desde los 69° 47' hasta los 73° 47' longitud oeste y limita por el norte con los departamentos de Meta y Vichada, por el oriente con Guainía y Vaupés, por el sur con Caquetá y Vaupés, y por el occidente con Meta y Caquetá.

En el contexto del área de estudio, el departamento del Guaviare presenta como particularidad la transición entre las sabanas de la Orinoquia al norte y los bosques húmedos de la Amazonia al sur, esta ubicación le confiere un importante interés biogeográfico; sin embargo, la mayor cobertura de vegetación del departamento presenta una mayor afinidad con los segundos, ante el dominio de amplias y continuas áreas de bosque. Lo anterior contribuye a afianzar aún más su singularidad ecosistémica y paisajística ya reconocida.

En la actualidad, el área presenta grandes cambios, el 11,8 % del territorio que en un pasado estaba cubierto de bosques y vegetación silvestre hoy ha sido remplazado por pastos, rastrojos, arboladas dispersas, algunos cultivos y asentamientos humanos. Esta transformación se observa principalmente en el área de sustracción y circundando las planicies de inundación de los ríos Guaviare e Inírida y las áreas circundantes del casco urbano de Miraflores.

Al departamento del Guaviare le corresponde una de las mayores áreas de intervención en la Amazonia colombiana. La dinámica de intervención, influenciada por los procesos de colonización que se han presentado en la región, ha provocado una fragmentación del paisaje, que da como resultado pequeños parches o relictos de bosque. Estos relictos cada vez más se han reducido, debido a la alta intervención de áreas que se han convertido en praderas con un proceso de degradación y



posterior erosión completa de suelos, producto de una actividad que no corresponde a la vocación forestal de los suelos de la Amazonia. Sin embargo, aún se conserva buena parte de estos relictos de bosque y es aquí donde el capital natural tiene un potencial importante, ya que estos bosques ofrecen bienes y servicios ambientales, de los cuales se pueden hacer encadenamientos de valor muy concretos para mercados específicos como la industria alimentaria, cosmética y nutracéutica.

Con la consolidación definitiva de las áreas intervenidas y la estabilización de modelos productivos, el bosque natural queda reducido a pequeñas áreas o relictos de bosque altamente degradados producto de la intensa extracción de recursos de valor socioeconómico representados básicamente en madera y fauna de autoconsumo, lo que en últimas limita el uso de estos relictos de bosques a la extracción de madera para leña y ocasionalmente para postería.

Ante el bajo valor económico que representa para el colono o campesino la conservación de los relictos de bosque - que usualmente no pasan de tener una connotación escénica- desaparecen con el tiempo para entrar a conformar nuevas áreas productivas dadas la exigencias del mercado y la presión demográfica existente, circunstancia que a la postre deteriora ambiental y económicamente los predios dedicados a las actividades agropecuarias.

Por otro lado, el tipo de utilización de las áreas productivas tradicionalmente solo tiene en cuenta un número reducido de especies, y un rango de utilización muy sesgado hacia la producción de maderas para las construcciones rurales y la extracción insostenible de productos naturales para el comercio nacional e internacional. Los recursos forestales de la Amazonia son considerables y hasta el presente han sido subutilizados o dilapidados; asegurar la producción sustentable de los productos del bosque, mediante la aplicación de técnicas de manejo forestal es considerada como una de las principales oportunidades para conservar la biodiversidad de la región, sin relegar la opción de desarrollo económico.

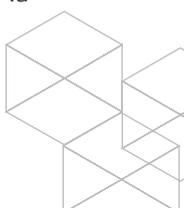
En razón a lo anterior, el Instituto SINCHI, con previo acuerdo entre productores agroambientales y la Gober-

nación del Guaviare, formuló el proyecto: *Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*. Este proyecto, pretende incidir en los factores que contribuyen a las amenazas, para reducir así las presiones hacia la biodiversidad, para el logro de los objetivos de conservación y uso sostenible. Plantea un modelo, que permitirá comprender la dinámica de la zona, donde revertir las tendencias de pérdida de bosques y de biodiversidad asociada requiere una gestión integral e innovadora que abarque los sistemas de gobierno local, la producción, la planificación sectorial y la conservación, en una concepción más amplia del manejo del territorio que explore mecanismos para fortalecer la gobernanza local y establecer relaciones horizontales efectivas entre actores.

Asoprocegua (Asociación de Productores por el Cambio Económico del Guaviare), Asoprocaucho (Asociación de Productores de Caucho del Guaviare) y Cooagroguaviare (Cooperativa Multiactiva Agropecuaria del Guaviare), son organizaciones de base que agrupan a los productores regionales beneficiarios del proyecto que aportarán los espacios para el establecimiento de las áreas piloto de implementación y manejo forestal en relictos de bosque.

El ejercicio metodológico parte de la caracterización de los recursos existentes (flora, fauna, suelos, población) en las áreas de estudio que corresponden a los relictos de bosque. Posteriormente, a partir de esta información, se llevó a cabo una valoración biofísica y económica de los bienes y servicios que se identificaron y se definieron las estrategias para su uso y conservación incluyendo los escenarios de cambio (clima y ordenamiento territorial) que los afectan. Finalmente, el proyecto abordó la transferencia del conocimiento generado y apoyó la implementación de herramientas de manejo productivo que conlleven a la sostenibilidad de la intervención en este territorio. El modelo se basa en el desarrollo de los recursos naturales existentes.

La alternativa que se puede leer en los capítulos del presente documento es una propuesta basada en la generación de conocimiento e información técnica y científica determinante sobre los bienes y servicios que prestan los relictos del bosque para el mejoramiento de paisajes productivos en el Guaviare que maximicen la



conservación de la biodiversidad y los beneficios para el bienestar humano de las comunidades locales.

Síntesis

Los relictos de bosques en el departamento del Guaviare se caracterizan por tener una alta diversidad de especies que proporcionan un alto potencial para proveer servicios ecosistémicos a las comunidades locales. Los estudios desarrollados en el conocimiento de la vegetación constituyen una herramienta de apoyo de gran importancia en los procesos de ordenación del territorio con criterios de sostenibilidad de acuerdo con el contexto social y ecológico de cada región. Es así como los estudios de diversidad y composición florística constituyen un importante aporte para establecer la línea base de conocimiento de estos recursos en la Amazonia.

En este documento se caracterizaron relictos de bosque denso alto de tierra firme, se registraron un total de 5414 individuos del estrato arbóreo (≥ 10 cm DAP) y se identificaron un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies. Las especies que presentaron los valores más altos de IVI corresponden a *Pseudolmedia laevis*, *Virola elongata*, *Goupia glabra*, *Terminalia amazonia*, *Protium sagotianum*, *Iryanthera laevis* y *Crepidospermum rhoifolium*; y de acuerdo con estudios anteriormente realizados, las palmas (*Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus bataua*, *Socratea exorrhiza*) siguen siendo las especies más comunes e importantes en los relictos de bosque del departamento del Guaviare.

Mediante la evaluación de rasgos funcionales aéreos de diez especies priorizadas por su frecuencia y dominancia en el bosque alto denso de tierra firme, se agruparon las especies de acuerdo con la similitud en sus características. Se obtuvieron tres tipos funcionales de plantas: El TFP 1 está compuesto por *E. precatoria*, *O. bataua*, *O. sp.* y *A. Chambira*; el TFP 2 lo integra *T. amazonia*, *C. cateniformis* y *G. glabra* y el TFP 3 está conformado por *V. elongata*, *P. laevis*, *P. sagotianum* y *P. cuspidata*.

A partir de los datos de vegetación se identificaron también las especies maderables nativas objeto de uso

en la región y se determinó la oferta natural actual en términos de volumen. Así mismo se identificaron los actores que participan en el sector forestal-madera y cada una de las actividades y procesos que se desarrollan para su aprovechamiento y comercialización, así como los puntos críticos más relevantes; se hicieron, de igual manera, algunas recomendaciones para la acción futura.

De acuerdo con muestreos de vegetación realizados en relictos de bosque denso alto de tierra firme, se seleccionaron 20 especies no maderables como las más representativas en términos de su abundancia y frecuencia, y se determinó su oferta en fincas de usuarios del bosque. Se evaluaron aspectos productivos, teniendo en cuenta la parte de la planta con potencial de uso, y se hicieron recomendaciones técnicas para el adecuado aprovechamiento de estos productos en el bosque. Adicionalmente, se realizó la caracterización fitoquímica y la cuantificación de compuestos más representativos de las especies *Virola elongata* (Sangretoro), *Protium sagotianum* (Anime), *Crepidospermum rhoifolium* (Coquindillo), *Iryanthera laevis* (Mamito) y *Dacryodes cf. Negrensis* (Cupé) colectadas en relictos de bosques del departamento de Guaviare, para identificar su potencial de uso en los sectores cosmético y de ingredientes naturales.

La prestación de servicios ecosistémicos de relictos de bosque alto denso de tierra firme del departamento del Guaviare se adelantó con metodologías de estudios realizados a escala local. La vegetación evaluada presenta un mayor contenido estimado de carbono total almacenado en la biomasa aérea dentro del parche del municipio Calamar, con un incremento de 146 a 161 t x ha⁻¹ en tres años, seguido por el parche del municipio El Retorno con un incremento de 107 a 117 t x ha⁻¹, mientras que el parche de San José del Guaviare presentó los menores valores estimados con un incremento de 73 a 75 t x ha⁻¹. Estos resultados ponen en evidencia un nivel de deforestación de los bosques mayor en San José del Guaviare, que disminuye hacia los municipios ubicados al sur, El Retorno y Calamar, con las consiguientes afectaciones sobre los reservorios de biomasa aérea y carbono almacenado.

En servicios hidrológicos, la estimación para los ingresos representados en el escurrimiento bajo el



dosel del bosque y la intercepción del agua lluvia para el ecosistema se estimó en 42,11 mm de 64,14 mm de la precipitación media semanal incidente; esta cantidad representa el 64,14 % de la lluvia bruta, ejercida en el SEH. El escurrimiento fustal medio semanal para el período de estudio se estimó en 0,58 mm, que corresponden al 0,90 % de la precipitación semanal incidente. La intercepción de agua lluvia media semanal por parte del dosel se estimó en 24,06 mm, que representa el 37,52 % de la precipitación incidente media semanal.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, se realizó un análisis tendiente a establecer el estado actual del territorio y sus dinámicas, para determinar las necesidades de intervención y definir los sitios prioritarios para llevar a cabo la implementación del proyecto. Para ello se generó un modelo de análisis espacial multicriterio que se ajustó a la evaluación de las características del territorio y sus ocupantes, y que fue aplicado utilizando herramientas digitales adecuadas para los análisis a realizar.

El proyecto vinculó a 400 campesinos y colonos mediante la firma de acuerdos de conservación de bosques, planificación predial y otras acciones de intervención. Todas estas acciones se desarrollaron a través de análisis cartográficos y trabajo de campo en el territorio mediante actividades aplicadas localmente, de tal forma, que se pudieran planificar y evaluar las implicaciones ambientales de las acciones a implementar para lograr la conectividad y conservación en el área del proyecto y establecer las variables territoriales que incidían en la deforestación.

El proceso de caracterización y tipificación de los sistemas productivos asociados a las 400 fincas objeto de trabajo, en cinco unidades de paisaje en el departamento de Guaviare que corresponden a sabana, tierra firme alta, tierra firme media, tierra firme baja y vega permitió la obtención de grupos predominantes en cada una de las unidades de paisaje. En el estrato de sabana se identificaron grupos de fincas agro avícolas con venta de mano de obra familiar y ganaderas familiares. En el estrato de tierra firme alta se agruparon fincas con orientación a la agricultura con venta de mano de obra familiar, ganaderas avícolas familiares y ganaderas con venta de mano de obra familiar. La unidad de paisaje tierra firme baja agrupó los predios en tipologías agrícola con venta de

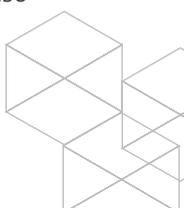
mano de obra familiar y ganadera con venta de mano de obra familiar. El estrato tierra firme media agrupó los predios en ganaderos con venta de mano de obra familiar, agropecuarios con venta de mano de obra familiar, ganaderos con explotación de maderas y venta de mano de obra familiar y agrícolas con venta de mano de obra familiar. Finalmente, el estrato de vega solo presentó un tipo de producción que se agrupó en el tipo agrícola con venta de mano de obra familiar.

Con toda esta información se logró la comprensión de la deforestación en el frente de colonización del Guaviare, a partir de una exploración sistémica de las relaciones de retroalimentación que suceden entre distintos fenómenos que operan a distintas escalas y que, no obstante, configuran conjuntamente dinámicas que terminan por materializar a nivel de predio y en la mente del productor, la decisión de deforestar como una opción deseable e incluso necesaria, aun cuando se contraponga a la sostenibilidad productiva de su predio.

De otra parte, buscando ofrecer opciones de política que tomen en cuenta estas consideraciones, se estudiaron diversos instrumentos aplicados alrededor del mundo, susceptibles de articularse en esquemas de política con un gran potencial de mitigar o abordar los principales motores de la deforestación identificados y, por ende, incidir en las cuentas, intereses y perspectivas del productor rural del Guaviare en beneficio de sus medios de vida, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de la misma.

Además, y considerando aspectos transversales a la región, se presentan los resultados de la evaluación de uno de los fenómenos de variabilidad climática, el ENSO en el Departamento del Guaviare. Se evidencia cómo la variabilidad climática en esta zona tiene un comportamiento bien diferenciado con respecto al resto del país. De igual manera, los análisis de tendencia y las proyecciones hechas en los escenarios de cambio climático muestran el posible comportamiento de las principales variables hidroclimatológicas para diferentes horizontes temporales.

Finalmente como un aporte a la toma de decisiones del ejercicio científico se propuso un esquema que consiste en analizar y sobreponer la información cartográfica determinada por la vocación y aptitud de uso versus el uso



actual, obtenido a partir de la reinterpretación de la leyenda de cobertura, identificando los conflictos de uso de las tierras como determinantes de actividades que se sugieren realizar en la región. Con base en la información generada se sugirieron zonas de conservación (54%), de manejo productivo (18%), de producción protectora (20%) y de reconversión o restauración (6%).

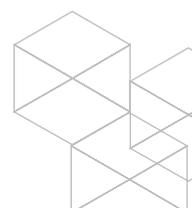
En conclusión, dado que la potencialidad de producción agropecuaria de los suelos de la zona es muy baja, se recomiendan que se implementen sistemas productivos más de tipo forestal sin desconocer que cerca del 6% de la zona requiere urgente programas de reconversión o restauración de suelos para detener la degradación identificada.





Caracterización Vegetal de los Relictos de Bosque del Área Intervenida del Departamento del Guaviare

Sandra Castro, Ángela García, Carlos Acosta, Karen López, Daniela Fonseca, Jorge Contreras, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera



Resumen

Los estudios enfocados en el conocimiento de la vegetación constituyen una herramienta de apoyo de gran importancia en los procesos de ordenación del territorio con criterios de sostenibilidad de acuerdo con el contexto social y ecológico de cada región. Es así como las investigaciones de diversidad y composición florística representan un importante aporte para establecer la línea base de conocimiento de estos recursos en la Amazonia.

En este documento se presenta un análisis estructural de las parcelas de vegetación que se caracterizaron en relictos de bosque denso alto de tierra firme (BADTF) y vegetación secundaria (VS) dentro del área del proyecto. Se establecieron 36 parcelas de 50 x 50 m (0,25 ha) en BADTF en las cuales se registraron un total 5414 individuos del estrato arbóreo (≥ 10 cm DAP) y se identificaron un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies. Las especies que presentaron los valores más altos de IVI corresponden a *Pseudolmedia laevis*, *Virola elongata*, *Goupia glabra*, *Terminalia amazonia*, *Protium sagotianum*, *Iryanthera laevis* y *Crepidospermum rhoifolium*; y de acuerdo con estudios anteriormente realizados, las palmas (*Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus bataua*, *Socratea exorrhiza*) siguen siendo las especies más comunes e importantes en los relictos de bosque del departamento del Guaviare. Se presentan además los resultados de los estudios de vegetación secundaria, realizados en el departamento del Guaviare, consistentes en 38 parcelas de 20 x 20 metros (0,04 ha), distribuidas en los municipios de San José del Guaviare (20), El Retorno (9) y Calamar (9). A nivel de diversidad se encontraron en total 338 especies, distribuidas en 60 familias y 167 géneros. Las familias que estuvieron mejor representadas fueron Mimosaceae (7 géneros y 41 especies), Melastomataceae (13, 25), Moraceae (13, 22), Rubiaceae (14,21), Burseraceae (4, 18), Euphorbiaceae (12, 18), Fabaceae (9, 13) y Lauraceae (5, 10). Los valores de IVI mostraron como especies importantes a *Croton matourensis*, *Cecropia sciadophylla*, *Astrocaryum chambira*, *Cochlospermum orinocense*, *Bellucia grossularioides*, *Himatanthus articulatus*, *Inga edulis*, siendo algunas de estas comúnmente asociadas a vegetación secundaria.

Introducción

El departamento del Guaviare corresponde a una de las mayores áreas de intervención en la Amazonia colombiana. Esto como consecuencia de los procesos de colonización que comenzaron a mediados del siglo pasado, producto de los conflictos sociales y políticos, interés por los recursos naturales (caza, pesca y explotación de madera), expansión de los cultivos ilícitos, y asociados a estos el incremento de la frontera agrícola y ganadera, con la intención de ocupar los terrenos 'baldíos' (Marín, 2002). La dinámica de intervención influenciada por los procesos de colonización que se han presentado en la región ha provocado una fragmentación del paisaje que ha generado pequeños parches o relictos de bosque. Estos relictos cada vez más se han reducido, debido a la alta intervención de áreas que se han convertido en praderas con un proceso de degradación y posterior erosión completa de suelos, producto de una actividad que no corresponde a la vocación de los suelos de la Amazonia, que es de tipo forestal. Sin embargo, aún se conserva buena parte de estos relictos de bosque y es aquí donde el capital natural tiene un potencial importante, ya que estos bosques ofrecen bienes y servicios ambientales, de los cuales se pueden hacer encadenamientos de valor muy concretos para mercados específicos como la industria alimentaria, cosmética y nutracéutica.

La investigación sobre la composición y estructura de las coberturas de bosque, contribuye con la generación de alternativas productivas sostenibles dirigidas a la implementación de especies forestales que por sus características ecológicas favorables y potenciales de uso se convierten en opciones productivas para la generación de recursos a las comunidades y, a la vez, en un importante factor para la conservación de los bosques y el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos.

En razón a lo anterior, el Instituto SINCHI bajo previo acuerdo entre las organizaciones comunitarias Asoprocaucho (Asociación de productores de caucho del Guaviare), Asoprocegua (Asociación de productores por el cambio económico del Guaviare) y Cooagroguaivare (Cooperativa de agricultores del Guaviare), y la gobernación del departamento del Guaviare, formuló el proyecto: *Investigación en relictos de bosque como*



estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare.

Uno de los objetivos de este proyecto (objetivo específico 1) busca “generar conocimiento e información de los bienes y servicios que prestan los relictos de bosque para crear condiciones que en el mediano y largo plazo reviertan las tendencias de pérdida de biodiversidad, especialmente la deforestación”; para lo cual, se establece como uno de sus productos tener ecosistemas de referencia caracterizados para la zonificación de las áreas de relictos en el área de sustracción reserva, ley 2ª del 59, mediante el análisis de la composición y estructura y función de la vegetación en parches de bosques priorizados. Como una contribución al logro de este objetivo, este artículo presenta el análisis de la información colectada en campo sobre la caracterización de parcelas de vegetación en bosques alto densos de tierra firme y vegetación secundaria o en transición, del área sustraída de los municipios de Calamar, El Retorno y San José del Guaviare.

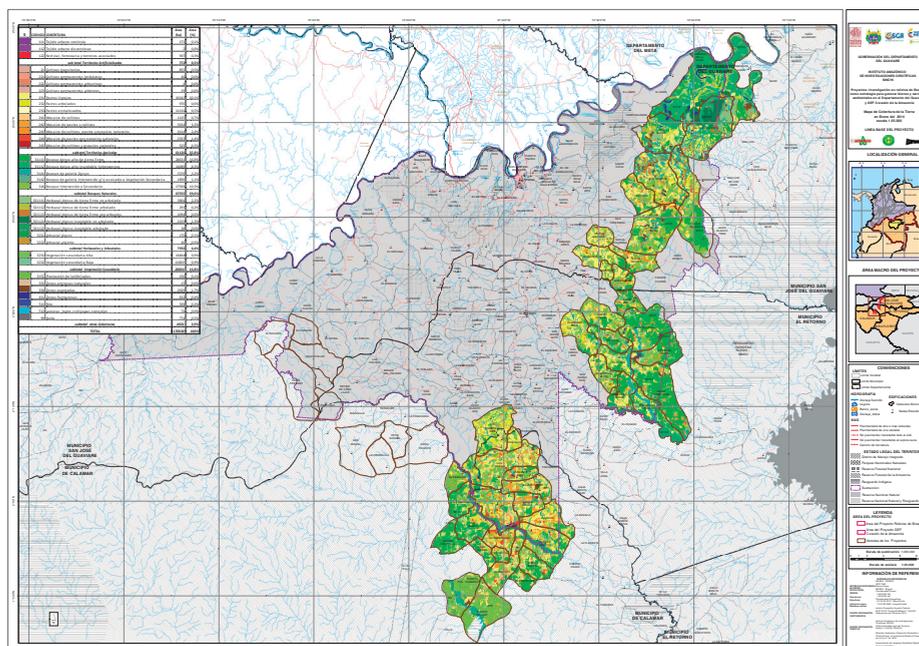
Métodos

Área de estudio

El área de estudio del proyecto corresponde al área sustraída de la reserva forestal del departamento del Guaviare, en los municipios de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar en zonas de mediana y baja intervención (figura 1).

El área en donde se establecieron las parcelas de vegetación corresponde al bosque denso alto de tierra firme (figura 2). En este bosque la vegetación es de tipo arbóreo, caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70 % del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos. Constituye la cobertura más extensa de la región. Incluye áreas con una cobertura densa de palmas naturales, cuando la formación vegetal presenta la altura mínima y el área es superior a 25 ha. (Se puede presentar asociaciones vegetales con predominio de palmas) y formaciones arbóreas secundarias regeneradas de manera natural que han alcanzado la densidad y altura de bosque natural (Instituto SINCHI, 2009).

Figura 1. Área de influencia del proyecto con la priorización de las áreas para los ejercicios de implementación y caracterización del componente boscoso



Fuente: Elaboración propia

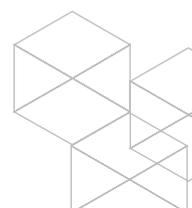


Figura 2. Tipo de cobertura en donde se establecieron las parcelas de vegetación



Fuente: Elaboración propia

Foto: Bernardo Giraldo

La vegetación secundaria alta (VSA) (Figura 3, derecha) corresponde a la unidad de cobertura vegetal que está en proceso de recambio, producto de la sucesión natural luego del establecimiento de las especies pioneras (10 a 25 años atrás o más). En esta cobertura se encuentra ya un 'dosel' en formación y árboles de porte superior a los 12 metros que llegan incluso a tener 25 metros en algunos casos; a diferencia de los primeros estadios, aquí encontramos ligeramente un mayor número de especies de árboles y disminuyen paulatinamente la proporción

de arbustos y hierbas. Por su parte, la vegetación secundaria baja (VSB) (figura 3, izquierda) es una cobertura vegetal que comienza su establecimiento luego del proceso de abandono (2 a 8 años atrás), alcanza una altura general de cinco a siete metros, sin un dosel definido y con individuos emergentes de crecimiento rápido que pueden alcanzar los 12 metros. Esta cobertura se encuentra dominada básicamente por especies de porte arbustivo y herbáceo, mientras que la diversidad de árboles es considerablemente más baja.



Figura 3. Coberturas de vegetación secundaria (baja y alta) en donde se establecieron las parcelas



Fuente: Elaboración propia

Establecimiento de las parcelas

Bosque denso alto de tierra firme

Se establecieron parcelas en los tres municipios: 9 parcelas en el municipio de Calamar, 19 en El Retorno y 8 en San José del Guaviare para un total 36 parcelas. El tamaño de parcela que se emplea para los levantamientos florísticos en los relictos de bosque priorizados corresponde a parcelas cuadradas de 50 x 50 m (2500 m²), con unidades de registro de 10 x 10 m.

Para la caracterización de la vegetación en estructura y composición de los relictos de bosque, se midieron los individuos ≥ 10 cm DAP y se registraron los datos de alturas, cobertura de copas, diámetros y se tomó muestras botánicas de cada una de las especies presente en la parcela.

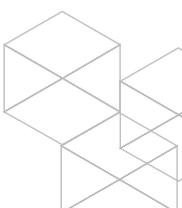


Tabla 1. Parcelas transitorias de vegetación de 50 x 50 m (2500 m²) que se muestrearon en los parches de bosque priorizados en los municipios de Calamar, El Retorno y San José

| Municipio | Vereda | Parche N° | Código de la parcela | Posición dentro del parche | Altitud (msnm) | Coordenadas Geográficas | |
|-----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| | | | | | | Latitud (N) | Longitud (W) |
| Calamar | Diamante Uno | 1 | CDIU/01C | Centro | 271 | 02° 02' 16,40" | 72° 41' 05,00" |
| | | | CDIU/02B | Borde | 285 | 02° 02' 11,10" | 72° 40' 48,70" |
| | | | CLAD/03B | Borde | 242 | 02° 02' 28,50" | 72° 41' 08,70" |
| | Las Damas | | CLAD/04M | Medio | 256 | 02° 02' 20,1" | 72° 41' 03,20" |
| | | | CLAG/05C | Centro | 236 | 01° 59' 7,8" | 72° 39' 55,70" |
| | | | CLAG/06M | Medio | 157 | 01° 59' 6,1" | 72° 39' 49,50" |
| | La Gaitana | 2 | CLAG/07M | Medio | 243 | 01° 59' 02,8" | 72° 49' 45,80" |
| | | | CLAG/08B | Borde | 246 | 01° 59' 04,0 " | 72° 39' 41,30" |
| | | | CLAG/09B | Borde | 260 | 02° 00' 00,2 " | 72° 42' 09,4" |
| El Retorno | San Antonio | Estación El Trueno | RSAN/01B | | 218 | 02° 22' 32,4" | 72° 37' 59,5" |
| | La Morichera | 1 | RLMO P3_Bo1 | Borde | 217 | 02° 17' 56,3" | 72° 26' 58,0" |
| | | | RLMOP3_Bo2 | Borde | 214 | 02° 17' 59,3" | 72° 26' 34,0" |
| | | | RLMO/P3_Ce1 | Borde | 212 | 02° 17' 15,9" | 72° 26' 36,7" |
| | | | RLMO/05B | Borde | 197 | 02° 17' 32,6" | 72° 26' 19,6" |
| | | | RLMO/09M | Medio | 185 | 02° 17' 29,4" | 72° 26' 22,7" |
| | | | RLMO/10M | Medio | 235 | 02° 17' 28,0" | 72° 26' 28,1" |
| | Chaparral Medio | 2 | RCME/06B | Borde | 234 | 02° 13' 52,8" | 72° 30' 04,3" |
| | | | RCME/07M | Medio | 225 | 02° 14' 07,8" | 72° 29' 46,1" |
| | | | RCME/08C | Centro | 234 | 02° 14' 10,6" | 72° 29' 46,8" |
| | Chaparral Bajo | 3 | RCBA/11C | Centro | 193 | 02° 11' 9,60" | 72° 28' 48,6" |
| | | | RCBA/12M | Medio | 221 | 02° 11' 4,5" | 72° 28' 54" |
| | | | RCBA/13M | Medio | 200 | 02° 11' 0,5" | 72° 28' 57,8" |
| | | | RCBA/14M | Medio | 202 | 02° 10' 57,2" | 72° 29' 1,4" |
| | | | RCBA/15B | Borde | 207 | 02° 10' 53,1" | 72° 29' 5,8" |
| | La Dos mil | 4 | RLDM/16C | Centro | 224 | 02° 21' 34,1" | 72° 26' 39,9" |
| | Chaparral Medio | 5 | RCME/17 | | 210 | 02° 13' 14,8" | 72° 27' 45,9" |
| | El Japón | 6 | RELJ/18 | | 199 | 02° 14' 14,6" | 72° 27' 57,5" |
| Palmeras Dos | 7 | RPAD/19 | | 215 | 02° 18' 33,0" | 72° 30' 31,2" | |
| San José del Guaviare | Guacamayas | 1 | SG/P14C | Centro | 355 | 02° 27' 05,20" | 72° 31' 09,40" |
| | | | SGUA/P14B2 | Borde | 243 | 02° 27' 04,70" | 72° 30' 42,05" |
| | | | SGUA/03M | Medio | 256 | 02° 27' 10,6" | 72° 31' 16,2" |
| | Gaviotas | 2 | SGAV/04B | Borde | 235 | 02° 24' 37,7" | 72° 27' 40,1" |
| | | | SGAV/05M | Medio | 223 | 02° 24' 43,1" | 72° 27' 41,5" |
| | | | SGAV/06M | Medio | 237 | 02° 24' 47,9" | 72° 27' 36,8" |
| | | | SGAV/07M | Medio | 247 | 02° 24' 51,3" | 72° 27' 33,8" |
| | | | SGAV/08C | Centro | 253 | 02° 24' 58,0" | 72° 27' 29,6" |

Fuente: Elaboración propia



Vegetación secundaria

Se establecieron en total 38 parcelas, entre transitorias y permanentes de 20 x 20 metros, las cuales se subdividieron en cuatro subcuadrantes (SQ) de 10 x 10 metros y a su vez en subcuadrantes (SQ) de 5 x 5 metros y 2 x 2 metros (parcelas anidadas), lo anterior basado en la metodología propuesta por Vallejo *et al.* (2005), Melo y Vargas (2003) y Yepes *et al.* (2011). Se hicieron algunas modificaciones, siguiendo el formato de toma de información realizado por García (2014).

Análisis de los datos capturados

Análisis de composición y estructura en parcela de BADTF

Se estableció la estructura vertical y horizontal de las coberturas boscosas y se calculó el índice de valor de importancia ecológica (IVI), la riqueza de especies y los índices de diversidad de Shannon Shannon-Wiener (H'), Uniformidad de Shannon ϵ , Simpson (D, $1/D$): Berger Parker ($d, 1/d$).

Se realizó un análisis de varianza general (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre las áreas de bosque muestreadas.

Análisis de agrupamiento

Se realizó un análisis de agrupamiento por promedio aritmético de grupos de pares no ponderados (UPGMA) en el paquete estadístico SPSS. Se realiza un análisis de conglomerados jerárquicos con las abundancias relativas por parche de bosque muestreado, empleando la distancia euclidiana (d). Se hace una estandarización de las variables (la abundancia relativa de cada una de las especies), en donde tienen igual peso (se normaliza las variables para que tengan promedio 0 y varianza 1).

Estimación de la rareza de especies

Se calcula el índice de Sorensen que es un estimador no paramétrico de la rareza, en donde se emplea la frecuencia (presencia-ausencia) para evaluar la similitud biótica entre dos parches.

Vegetación secundaria. Análisis comparativo de la estructura

El análisis de la información se desarrolló en dos etapas diferenciales:

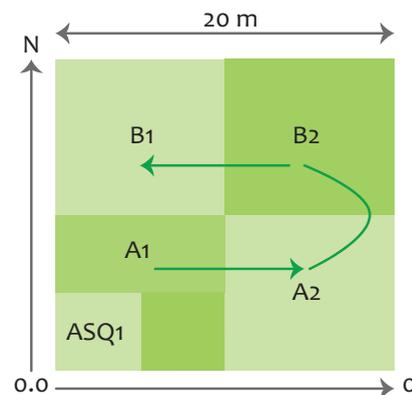
-Primera etapa: Análisis estadístico univariado tanto pareado como múltiple por localidades y para todas en

conjunto teniendo en cuenta las cualidades estructurales de interés (área basal, cobertura, altura total y diámetro a la altura del pecho). Para las comparaciones pareadas se empleó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney con alfa del 0,05; mientras que para los contrastes múltiples se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con alfa de confianza 0,05.

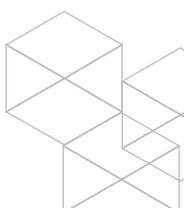
-Segunda etapa: Análisis cuantitativo en curvas de rarefacción tanto por localidad como general para todo el muestreo con el fin de establecer la necesidad o no de aumentar el esfuerzo de trabajo. En este caso se emplearon estimadores de esfuerzo con presencia/ausencia, tales como CHAO 2, JACKKNIFE 1 y JACKKNIFE 2, todos estos cálculos se hicieron con 1000 iteraciones.

Para la ubicación de las parcelas en campo, se corroboró que correspondiera a lo denominado vegetación secundaria alta VSA y vegetación secundaria baja VSB, de acuerdo con el mapa de coberturas existentes de la zona. La delimitación de la parcela dependió de la homogeneidad de cobertura a estudiar en dicho punto y se trazó de la siguiente manera: el punto de partida 0.0 se marca con una estaca de PVC, orientando con la brújula a 20 metros en sentido norte (N) y 20 metros en sentido oriente (O) para conformar un plano cartesiano. Posteriormente se ubican los otros tres puntos para generar el cuadrado de 20 x 20 m, con los subcuadrantes (SQ) correspondientes. El sentido de avanzada de este se definió para el eje Y en letras y para X numérico, avanza en forma de 'S' sobre la línea alfabética (figura 4).

Figura 4. Orientación de las parcelas y recorrido de muestreo sobre estas



Fuente: Instituto SINCHI (2016).



Categorías evaluadas

Para el inventario florístico y estructural, se censaron y ubicaron espacialmente cada uno de los individuos encontrados sobre la parcela, a manera de un plano cartesiano (X,Y), así como las variables diámetro a la altura de pecho (DAP), definido por tres categorías: herbáceo (2,5-4,9 cm), arbustivo (5,0-9,9 cm) y arbóreo (≥ 10 cm), las plantas como palmas que presentaron forma de vida cespitosa, acaules o con varios individuos agrupados se les tomó el DAP de manera independiente y luego se contabilizaron como un solo individuo, de igual manera se registró el tipo de hábito, altura total, altura de fuste, ancho de copa (mayor y menor), con el fin de realizar los respectivos análisis estructurales y se realizaron anotaciones sobre el diámetro de copa para estimación de cobertura. Así mismo, se tomó información sobre características morfológicas y caracteres importantes para la determinación (corteza, color, sabor, presencia de látex, fenología reproductiva y de hojas, densidad de madera y observaciones generales. Todo esto siguiendo el marco metodológico establecido por García (2014).

Seguidamente, se realizó una identificación taxonómica preliminar en campo y se procedió a realizar colecciones de material vegetal, para su posterior determinación en el Herbario Amazónico Colombiano, COAH. El material recolectado fue prensado en papel periódico y preservado en alcohol al 70 %.

Determinación del material

Para la determinación del material se llevó a cabo una comparación de los ejemplares recolectados con las colecciones depositadas en el Herbario Amazónico Colombiano (COAH). Se apoyó en la literatura especializada existente como guías de campo ilustradas y floras de la zona (Gentry, 1996; Steyemark et al., 1995; etc.), así mismo se realizó una búsqueda en los herbarios virtuales y holotipos que se encuentran en las diferentes páginas web (<http://www.tropicos.org>, <http://plants.jstor.org>, <http://www.theplantlist.org>, <http://www.ipni.org>, <http://sweetgum.nybg.org>, <http://fm1.fieldmuseum.org>). Finalmente, el material recolectado fue seleccionado, etiquetado y depositado en las colecciones del Herbario Amazónico Colombiano (COAH).

Caracterización florística

Se revisó el número total de taxones determinados a nivel de familia, género y especie. Para el análisis final se tuvo en cuenta únicamente el material que se pudo determinar plenamente hasta especie y las morfoespecies a nivel de género. La distribución relativa de la riqueza (riqueza ponderada) se definió según las categorías propuestas por Rangel et al. (2005).

Similitud florística

Se realizó un análisis de similitud simple, para ver si existía algún tipo de agrupamiento por parcelas de acuerdo con la composición florística de estas, se tuvo en cuenta solo el material que se encontraba a especie, empleando el Índice de Similitud de Morisita (software PAST).

Análisis de la estructura de la vegetación

La información resultante de cada uno de los individuos en las diferentes parcelas, junto con los valores de área basal (AB), se emplearon para calcular el índice de valor de importancia (IVI), como la sumatoria de la densidad relativa (DeR), la frecuencia relativa (FR) y la dominancia relativa (DoR).

$$AB = \pi * (DAP / 2)^2$$
$$IVI = DeR + FR + DoR$$

DeR= (número de individuos por especie/ número total de individuos en la comunidad) x 100

FR= (número de parcelas en los que aparece la especie / sumatoria de las frecuencias) x 100

DoR= (sumatoria del área basal de todos los individuos de la especie/ sumatoria del área basal de toda la comunidad) x 100

La determinación de importancia ecológica por familias en el bosque, se obtuvo empleando el índice de importancia por familia (IVF), según lo propuesto por Mori y Boom (1983), como la sumatoria de la diversidad relativa (número de especies por familia/número total de especies), densidad y dominancia relativas.

Con los parámetros altura y DAP se construyeron intervalos de clase, con el fin de evaluar su distribución



mediante la ecuación $C = (X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}}) / m$, donde C = amplitud del intervalo; $m = 1 + 3.3 \log N$; N = número de individuos (Rangel & Velásquez, 1997). En el caso de palmas y/o plantas que ramifican por debajo de la altura del pecho, el DAP total (D_t) se obtuvo de acuerdo con lo propuesto por Franco-Roselli et al (1997), donde $D_t = (4A_t / \pi)^{1/2}$ en donde: A_t = área total $A_t = \sum A_i$ y A_i = área de cada tallo $A_i = \pi(DAP)^2 / 4$.

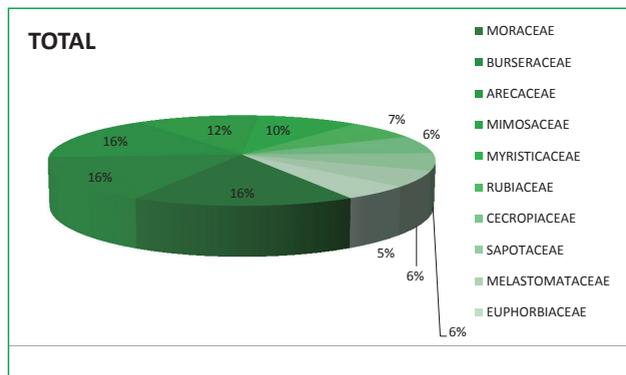
Los análisis anteriores fueron empleados para comparar entre las localidades y de manera general, solo con las especies del estrato arbóreo y arbustivo.

Resultados

Caracterización bosques altos densos de tierra firme (BADTF)

En las parcelas ubicadas en bosques altos densos se registró para el total del muestreo 5414 individuos del estrato arbóreo (≥ 10 cm DAP) y se identificaron un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies. Las familias más importantes son Moraceae (10,32), Burseraceae (10,02) y Arecaceae (9,88) con valores cercanos al 10% de valor de importancia por familia (FIV) (figura 5). Los géneros más representativos son

Figura 5. Valor de importancia familiar (FIV) para las áreas de bosque evaluadas



Fuente: Elaboración propia

Las especies que presentaron los mayores índices de valor de importancia IVI (tabla 2) corresponden a árboles *Pseudolmedia laevis*, *Virola elongata*, *Goupia glabra*, *Terminalia amazonia*, *Protium sagotianum* y *Crepidospermum rhoifolium* y las palmas (*Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus bataua*,

Socratea exorrhiza), estas son las especies más comunes e importantes en los relictos de bosque del departamento del Guaviare.

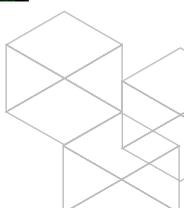


Tabla 2. Índices convencionales para la evaluación estructural de los bosques priorizados a nivel de parcelas

| N° | Especie | Familia | Abundancia | Frecuencia | Área basal (m ²) | IVI |
|----|-----------------------------------|----------------|-------------|-------------|------------------------------|---------------|
| 1 | <i>Pseudolmedia laevis</i> | Moraceae | 264 | 33 | 7,10 | 10,94 |
| 2 | <i>Astrocaryum chambira</i> | Arecaceae | 202 | 29 | 7,13 | 9,50 |
| 3 | <i>Euterpe precatória</i> | Arecaceae | 188 | 31 | 2,33 | 6,61 |
| 4 | <i>Oenocarpus bataua</i> | Arecaceae | 157 | 22 | 3,69 | 6,32 |
| 5 | <i>Virola elongata</i> | Myristicaceae | 152 | 22 | 3,73 | 6,24 |
| 6 | <i>Goupia glabra</i> | Celastraceae | 28 | 15 | 8,84 | 6,22 |
| 7 | <i>Terminalia amazonia</i> | Combretaceae | 31 | 19 | 8,26 | 6,14 |
| 8 | <i>Protium sagotianum</i> | Burseraceae | 120 | 32 | 3,68 | 6,01 |
| 9 | <i>Socratea exorrhiza</i> | Arecaceae | 125 | 29 | 1,94 | 5,00 |
| 10 | <i>Iryanthera laevis</i> | Myristicaceae | 118 | 23 | 2,51 | 4,90 |
| 11 | <i>Crepidospermum rhoifolium</i> | Burseraceae | 117 | 25 | 2,18 | 4,78 |
| 12 | <i>Inga capitata</i> | Mimosaceae | 71 | 28 | 2,31 | 4,05 |
| 13 | <i>Protium calanense</i> | Burseraceae | 82 | 28 | 1,27 | 3,69 |
| 14 | <i>Protium amazonicum</i> | Burseraceae | 70 | 27 | 1,63 | 3,60 |
| 15 | <i>Perebea xanthochyma</i> | Moraceae | 70 | 25 | 1,56 | 3,47 |
| 16 | <i>Crepidospermum goudotianum</i> | Burseraceae | 78 | 25 | 1,17 | 3,42 |
| 17 | <i>Cedrelinga cateniformis</i> | Mimosaceae | 16 | 11 | 4,36 | 3,28 |
| 18 | <i>Dialium guianense</i> | Caesalpinaceae | 20 | 14 | 3,62 | 3,09 |
| 19 | <i>Attalea insignis</i> | Arecaceae | 49 | 12 | 2,32 | 2,86 |
| 20 | <i>Pseudolmedia cf. Rigida</i> | Moraceae | 54 | 17 | 1,71 | 2,86 |
| | Total 20 especies | | 2012 | | 71,33 | 102,96 |
| | Otras especies | | 2794 | 1702 | 107,11 | 197,04 |
| | Total | | 4806 | 2169 | 178,44 | 300 |

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las especies más importantes se encuentran en un rango entre 4,78 y 10,94, valores en general por debajo de 12,5 – 52,5 de los IVI de las especies arbóreas más importantes de otros bosques amazónicos (Korning et al., 1991). Esta tendencia puede explicarse por la alta diversidad y por la concentración de individuos en categorías diamétricas bajas (Giraldo, 2004).

Evaluación de la riqueza de especies en BADTF

Tabla 3. Índices de riqueza por parche basados en la abundancia relativa de las especies

| N° Parche | Shannon-Wiener (H') | Uniformidad de Shannon ϵ | Simpson (D) | Berger Parker (d) | Simpson (1/D) | Berger Parker (1/d) |
|-----------|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------|---------------|---------------------|
| 1 | 4,47 | 0,88 | 0,02 | 0,09 | 45,45 | 11,24 |
| 2 | 4,48 | 0,90 | 0,02 | 0,05 | 58,82 | 21,72 |
| 3 | 4,19 | 0,84 | 0,03 | 0,07 | 40,00 | 15,38 |
| 4 | 4,29 | 0,87 | 0,02 | 0,09 | 41,67 | 11,73 |
| 5 | 4,20 | 0,83 | 0,03 | 0,12 | 30,30 | 8,48 |
| 6 | 3,95 | 0,83 | 0,04 | 0,13 | 25,64 | 7,88 |
| 7 | 3,98 | 0,82 | 0,04 | 0,12 | 27,03 | 8,55 |

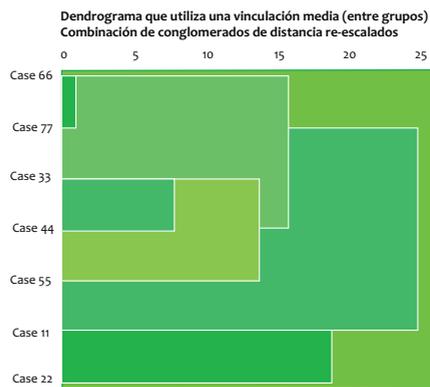
Los valores de los índices de riqueza que se muestran en la tabla 3, expresaron una alta heterogeneidad dentro de cada uno de los parches, en donde muy pocas especies están representadas por un alto porcentaje de individuos, mientras la mayoría tendieron a ser localmente raras (Melo & Vargas, 2003; Condit et al., 2000). Al realizar el análisis de varianza general (ANOVA), los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre parches (F: 2, 19; p=0,0926).



Evaluación de la diversidad de especies en BADTF

Al comparar la abundancia relativa de las especies entre los parches de bosque muestreados, en el dendrograma que se muestra en la figura 6, se identifican dos grupos. Uno está conformado por los parches 1 y 2 que corresponden a los relictos evaluados en el municipio de Calamar y el otro está conformado por el resto de los parches 3, 4, 5, 6 y 7 de los municipios de El Retorno y San José del Guaviare. Los parches 6 y 7 de San José del Guaviare son los que mayor vínculo tienen.

Figura 6. Dendrograma del agrupamiento de los parches de bosque denso alto de tierra firme muestreado

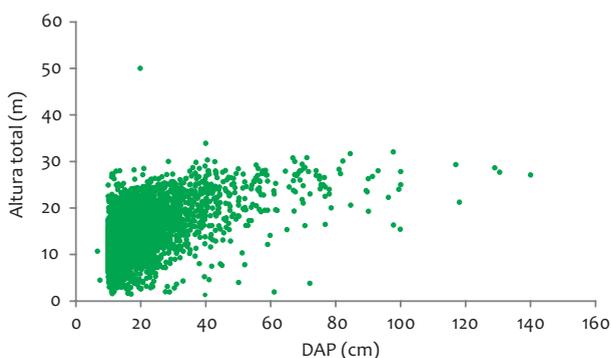


Fuente: Elaboración propia

Composición y estructura de la cobertura bosque alto denso de tierra firme en relictos

Distribución de frecuencias del diámetro y la altura

Figura 7. Relación entre el DAP y la altura de los individuos censados en los muestreos de vegetación realizados en las áreas de bosque priorizadas



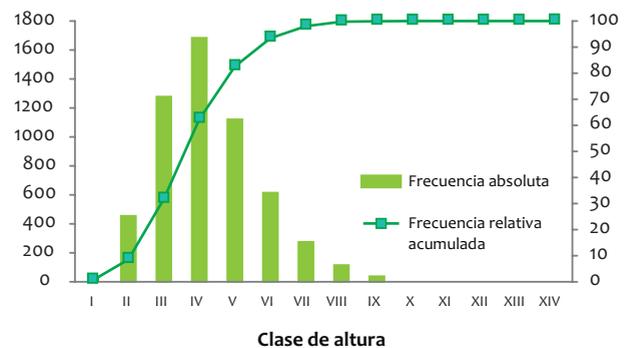
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 7 y 8 se observa que el comportamiento de la altura tiende a ser un poco uniforme, en donde los árboles no son tan altos y no se cuenta con una estratificación claramente definida. El porcentaje de individuos es descendente desde la clase de menor altura hasta los individuos más altos (tabla 4). El mayor número de individuos arbóreos se concentra entre los 8 y los 18 metros de altura, similar a lo reportado en otros estudios (Huamantupa-Chuquimaco, 2010; Quisbert & Macía, 2005; Giraldo *et al.*, 2004).

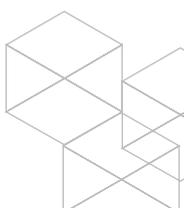
Tabla 4. Distribución de frecuencias para la variable altura total (m) de los árboles registrados en las parcelas de vegetación caracterizadas

| Clase | Min | Max | Frec. Absoluta | Frec. Relativa | Frecuencia relat. Acumulada |
|--------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| I | 1,62 | 5,08 | 35 | 0,65 | 0,65 |
| II | 5,08 | 8,53 | 429 | 7,92 | 8,57 |
| III | 8,53 | 11,99 | 1252 | 23,13 | 31,70 |
| IV | 11,99 | 15,44 | 1658 | 30,62 | 62,32 |
| V | 15,44 | 18,90 | 1095 | 20,23 | 82,55 |
| VI | 18,90 | 22,35 | 590 | 10,90 | 93,44 |
| VII | 22,35 | 25,81 | 249 | 4,60 | 98,04 |
| VIII | 25,81 | 29,27 | 89 | 1,64 | 99,69 |
| IX | 29,27 | 32,72 | 13 | 0,24 | 99,93 |
| X | 32,72 | 36,18 | 2 | 0,04 | 99,96 |
| XI | 36,18 | 39,63 | 0 | 0,00 | 99,96 |
| XII | 39,63 | 43,09 | 0 | 0,00 | 99,96 |
| XIII | 43,09 | 46,54 | 1 | 0,02 | 99,98 |
| XIV | 46,54 | 50,00 | 1 | 0,02 | 100,00 |
| Total | 5414 | 100,00 | | | |

Figura 8. Densidad de individuos arbóreos por clase de altura en los muestreos de vegetación realizados en las áreas de bosque priorizadas



Fuente: Elaboración propia



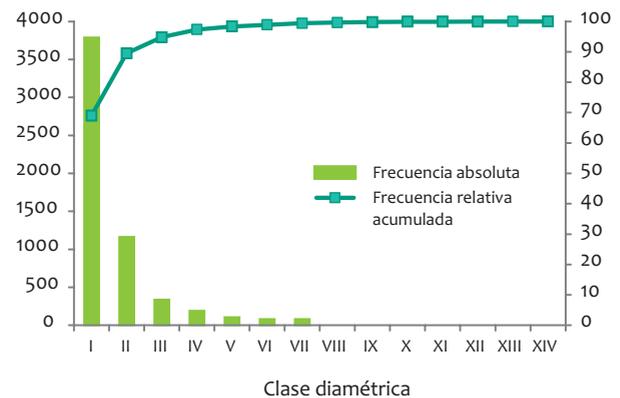
En los relictos de bosque evaluados, la distribución del número de individuos por clase según el DAP está representada por una curva en forma de L o J invertida, con árboles frecuentemente ausentes en las clases más grandes (tabla 5 y figura 9). La baja densidad en las clases con mayor DAP (>40 cm) puede atribuirse a la caída natural de árboles frecuentemente (Saldarriaga, 1994) o a la entresaca de especies con valor comercial.

Las distribuciones de DAP y altura en forma de 'J' invertida, representan la proporción de las diferentes etapas del desarrollo del bosque y constituyen el conjunto de las poblaciones (diversidad) y las leyes que lo gobiernan (disturbios, competencia, regeneración, crecimiento y mortalidad) (Araujo & Jorgensen, 2005).

Tabla 5. Distribución de frecuencias para la variable diámetro a la altura del pecho (DAP en cm) de los árboles registrados en las parcelas de vegetación caracterizadas

| Clase | Min | Max | Frec. absoluta | Frec. relativa | Frecuencia relat. acumulada |
|--------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| I | 10 | 19,29 | 3736 | 69,01 | 69,01 |
| II | 19,29 | 28,57 | 1111 | 20,52 | 89,53 |
| III | 28,57 | 37,86 | 285 | 5,26 | 94,79 |
| IV | 37,86 | 47,14 | 138 | 2,55 | 97,34 |
| V | 47,14 | 56,43 | 55 | 1,02 | 98,36 |
| VI | 56,43 | 65,71 | 29 | 0,54 | 98,89 |
| VII | 65,71 | 75,00 | 28 | 0,52 | 99,41 |
| VIII | 75,00 | 84,29 | 13 | 0,24 | 99,65 |
| IX | 84,29 | 93,57 | 8 | 0,15 | 99,80 |
| X | 93,57 | 102,86 | 6 | 0,11 | 99,91 |
| XI | 102,86 | 112,14 | 0 | 0,00 | 99,91 |
| XII | 112,14 | 121,43 | 2 | 0,04 | 99,94 |
| XIII | 121,43 | 130,71 | 2 | 0,04 | 99,98 |
| XIV | 130,71 | 140,00 | 1 | 0,02 | 100,00 |
| Total | 5414 | 100,00 | | | |

Figura 9. Número de árboles por clase diamétrica para la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

El 95 % de los individuos presentaron un área basal entre 0,007854 y 0,117249 (tabla 6 y figura 10). De acuerdo con los resultados de las 36 parcelas, se estima una densidad de 602 individuos arbóreos por hectárea y un área basal de 21,93 m² x ha⁻¹. Araujo et al. (2012) reportan para bosques de tierra firme en Bolivia un área basal de 25,6 m² x ha⁻¹, valor cercano a los relictos de bosque evaluados. Saldarriaga (1994) calculó un valor promedio de 34,8 m² x ha⁻¹ para bosques maduros de tierra firme en la Amazonia colombiana-venezolana, 24, 19 m² x ha⁻¹ para rodales de 60 a 80 años y 18,59 m² x ha⁻¹ para rodales de 30 a 40 años.

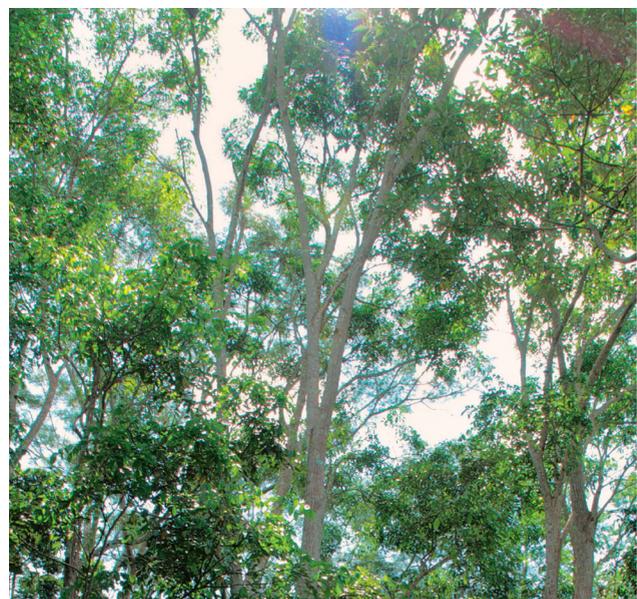
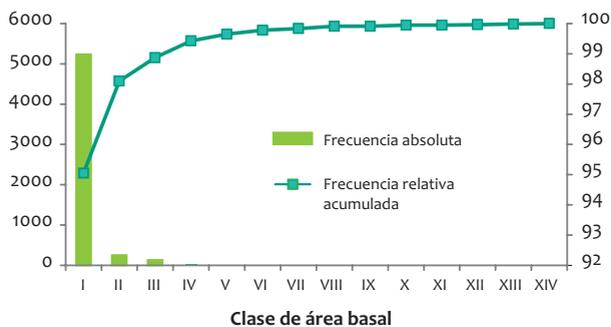


Tabla 6. Distribución de frecuencias para la variable área basal (m²) de los árboles registrados en las parcelas de vegetación caracterizadas

| Clase | Min | Max | Frec. absoluta | Frec. relativa | Frecuencia relat. acumulada |
|--------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| I | 0,0079 | 0,1172 | 5146 | 95,05 | 95,05 |
| II | 0,1172 | 0,2266 | 165 | 3,05 | 98,10 |
| III | 0,2266 | 0,3360 | 42 | 0,78 | 98,87 |
| IV | 0,3360 | 0,4454 | 30 | 0,55 | 99,43 |
| V | 0,4454 | 0,5548 | 12 | 0,22 | 99,65 |
| VI | 0,5548 | 0,6642 | 7 | 0,13 | 99,78 |
| VII | 0,6642 | 0,7736 | 3 | 0,06 | 99,83 |
| VIII | 0,7736 | 0,8830 | 4 | 0,07 | 99,91 |
| IX | 0,8830 | 0,9924 | 0 | 0,00 | 99,91 |
| X | 0,9924 | 1,1018 | 2 | 0,04 | 99,94 |
| XI | 1,1018 | 1,2112 | 0 | 0,00 | 99,94 |
| XII | 1,2112 | 1,3206 | 1 | 0,02 | 99,96 |
| XIII | 1,3206 | 1,4300 | 1 | 0,02 | 99,98 |
| XIV | 1,4300 | 1,5400 | 1 | 0,02 | 100,00 |
| Total | 5414 | 100,00 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Número de árboles por clase de área basal para la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal

Tabla 7. Índice de similaridad de Sorensen para comparar la composición florística entre los parches de bosque muestreados

| Cód. parche* | Parches/ N° parcelas | Parámetros | Valor | Similitud | Beta diversidad |
|--------------|----------------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| CDIU CLAG | 1 (4)-2 (4) | a b | 160 125 | 0,53 | 46,67 |
| CDIU RCBA | 1 (4)-5 (5) | j a b | 76 160 160 | 0,37 | 63,13 |
| CDIU SGAV | 1 (4)-7 (5) | j a b | 59 160 125 | 0,36 | 63,51 |
| RLMO RCBA | 3 (6)-5 (5) | j a b | 52 151 160 | 0,50 | 50,48 |
| SGUA SGAV | 6 (3)-7 (5) | j a b | 77 119 125 | 0,52 | 48,36 |
| RCBA SGAV | 5 (5)-7 (5) | j a b j | 63 160 125 56 | 0,39 | 60,70 |

* Cod_parche ver tabla 1.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que en términos de composición florística al comparar dos parches, estos no alcanzan a compartir más del 55 % de las especies. Los valores de similaridad más bajos se presentan al comparar los parches de bosque de Calamar con los parches de bosque de San José del Guaviare, en donde el porcentaje de especies compartidas no superan el 38 %.

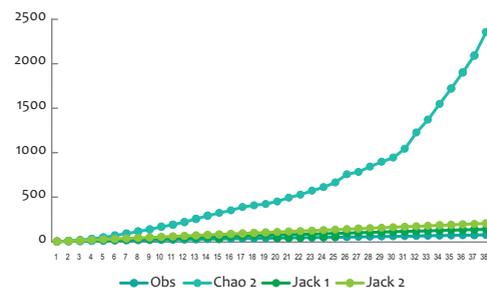
Vegetación secundaria

Representatividad del Muestreo por Localidad

San José del Guaviare

Para este fin se construyó una gráfica de rarefacción (figura 11) en la que las unidades muestrales fueron definidas como las parcelas de estudio en la localidad.

Figura 11. Curva de rarefacción para la localidad de San José del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

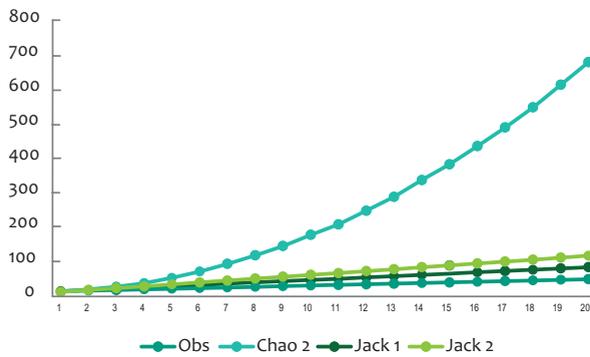


En San José, a pesar de haber tenido un esfuerzo de muestreo importante (20 unidades muestrales), no se logra registrar la mayor parte de las especies potenciales del lugar. Esto se nota ya que la curva de datos registrados (obs) no logra estabilizarse, ni llega a su asíntota; sino que mantiene un comportamiento de crecimiento. Al comparar los resultados obtenidos con los estimadores de presencia/ausencia Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2 se entiende que es necesario aumentar el esfuerzo de muestreo ya que el número de especies potenciales varía entre 670 (Chao 2), 72 (Jack 1) y 105 (Jack 2).

Calamar

Para este fin se construyó una gráfica de rarefacción (figura 12) en la que las unidades muestrales fueron definidas como las parcelas de estudio en la localidad.

Figura 12. Curva de rarefacción para la localidad de Calamar



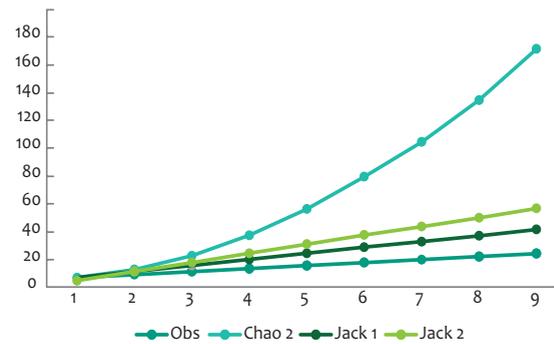
Fuente: Elaboración propia

En Calamar la figura 12 muestra que la curva de datos registrados en campo (Obs) aún está con tendencia al crecimiento y no ha llegado a su asíntota de estabilidad. Al comparar los resultados contra los estimadores de presencia/ausencia Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2 se tiene que la diferencia de especies registradas con potenciales es aún muy grande, ya que es posible aumentar el número de especies en Calamar hasta 154 (Chao 2), 34 (Jack 1) o 48 (Jack 2).

El Retorno

Para este fin se construyó una gráfica de rarefacción (figura 13) en la que las unidades muestrales fueron definidas como las parcelas de estudio en la localidad.

Figura 13. Curva de rarefacción para la localidad de El Retorno



Fuente: Elaboración propia

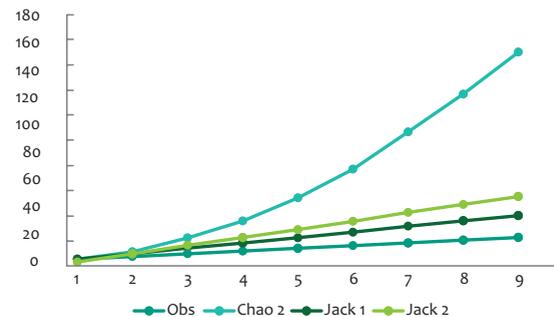
En la localidad del Retorno se observa un comportamiento de los datos similar al encontrado en Calamar. En este caso, al comparar los datos obtenidos en campo con los estimadores de presencia/ausencia Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2 se encuentran amplias diferencias en el potencial de especies a registrar que varían entre 154 (Chao 2), 34 (Jack 1) y 48 (Jack 2).

Curva de acumulación de especies (todas las localidades)

Se construyó una gráfica de acumulación de especies (figura 14) en la que las unidades muestrales fueron definidas como las parcelas de estudio desarrolladas para todas las localidades de trabajo, que en total fueron 38. El orden de las parcelas es el siguiente:

- Parcelas 1 a 20: San José del Guaviare
- Parcelas 21 a 29: Calamar
- Parcelas 30 a 38: El Retorno

Figura 14. Curva de acumulación de especies para todas las localidades



Fuente: Elaboración propia



Cuando se analiza por completo el comportamiento de la curva general de acumulación de especies se encuentra el mismo patrón descrito por localidad. En comparación con los estimadores de presencia/ausencia empleados para el análisis de las muestras, es claro que aún hay fuertes diferencias entre la riqueza registrada y la riqueza probabilística en la zona; ya que el número de especies puede variar entre 2355 (Chao 2), 138 (Jack 1) y 204 (Jack 2).

Pruebas pareadas para comparación entre vegetación secundaria alta vs vegetación secundaria baja

Área basal

Debido a que los datos recolectados en campo no cumplen con el supuesto básico de normalidad, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para realizar las comparaciones múltiples para el atributo de área basal, cobertura, altura total y DAP entre los tipos de vegetación alta y baja en todas las localidades de trabajo. Esta prueba es homóloga al ANOVA de una vía, con la que se quiere encontrar la existencia de diferencias significativas entre las medianas de los grupos evaluados.

Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar vegetación secundaria alta y baja en San Jose del Guaviare

| | |
|-------------|-----------|
| H (chi2) | 24,84 |
| Hc (Correg) | 24,84 |
| p (Calc) | 0,0001498 |
| p valor | 0,05 |

Fuente: Elaboración propia

Con la prueba de K-W se obtuvo que las muestras poseen diferencias estadísticamente significativas en su atributo de área basal cuando se comparan en total los datos de vegetación alta y baja para todas las localidades muestreadas (tabla 8).

-Cobertura

Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar vegetación secundaria alta y baja en San Jose del Guaviare

| | |
|-------------|----------|
| H (chi2) | 72,86 |
| Hc (Correg) | 72,87 |
| p (Calc) | 2,59E-11 |
| p valor | 0,05 |

Fuente: Elaboración propia

Con la prueba de K-W se obtuvo que las muestras poseen diferencias estadísticamente significativas en su atributo de cobertura cuando se comparan en total los datos de vegetación alta y baja para todas las localidades muestreadas (tabla 9).

-Altura total

Tabla 10. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar vegetación secundaria alta y baja en San José del Guaviare

| | |
|-------------|----------|
| H (chi2) | 183,5 |
| Hc (Correg) | 183,5 |
| p (Calc) | 9,73E-38 |
| p valor | 0,05 |

Fuente: Elaboración propia

Con la prueba de K-W se obtuvo que las muestras poseen diferencias estadísticamente significativas en su atributo de cobertura cuando se comparan en total los datos de vegetación alta y baja para todas las localidades muestreadas (tabla 10).

-Diámetro a la altura del pecho

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar vegetación secundaria alta y baja en San Jose del Guaviare

| | |
|-------------|-----------|
| H (chi2) | 24,83 |
| Hc (Correg) | 24,83 |
| p (Calc) | 0,0001501 |
| p valor | 0,05 |

Fuente: Elaboración propia

Con la prueba de K-W se obtuvo que las muestras poseen diferencias estadísticamente significativas en su atributo de cobertura cuando se comparan en total los datos de vegetación alta y baja para todas las localidades muestreadas (tabla 11).

Diversidad y riqueza general

En el área de estudio en total, para las 38 parcelas trabajadas se registraron 60 familias botánicas, 167 géneros y 338 especies. La familia botánica más importante es Mimosaceae con 41 especies que representan el 12,13 % de la riqueza registrada en la zona; en segundo lugar está la familia Melastomataceae y en tercer puesto Moraceae (tabla 12). Todas las familias botánicas registradas con



cinco o más especies en sumatoria tienen una representatividad del 77,81 % de la riqueza; sin embargo, la mayor parte de las familias están representadas por pocas especies (4 o menos cada una).

Tabla 12. Familias más diversas identificadas en las 38 parcelas, de acuerdo con su número de especies

| Familia | No. Spp. | % Repres. |
|-----------------------|------------|------------|
| Mimosaceae | 41 | 12,13 |
| Melastomataceae | 25 | 7,40 |
| Moraceae | 22 | 6,51 |
| Rubiaceae | 21 | 6,21 |
| Burseraceae | 18 | 5,33 |
| Euphorbiaceae | 18 | 5,33 |
| Fabaceae | 13 | 3,85 |
| Lauraceae | 10 | 2,96 |
| Annonaceae | 9 | 2,66 |
| Myristicaceae | 9 | 2,66 |
| Apocynaceae | 8 | 2,37 |
| Myrtaceae | 8 | 2,37 |
| Sapotaceae | 8 | 2,37 |
| Arecaceae | 7 | 2,07 |
| Sapindaceae | 7 | 2,07 |
| Caesalpinaceae | 6 | 1,78 |
| Cecropiaceae | 6 | 1,78 |
| Nyctaginaceae | 6 | 1,78 |
| Vochysiaceae | 6 | 1,78 |
| Clusiaceae | 5 | 1,48 |
| Flacourtiaceae | 5 | 1,48 |
| Lecythidaceae | 5 | 1,48 |
| Familias más diversas | 263 | 77,81 |
| Otras familias | 75 | 22,19 |
| Total | 338 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a géneros (tabla 13), la familia más diversa es Rubiaceae con 14 géneros que representan el 8,38 % de la riqueza, en segundo lugar se encuentra Moraceae con 13 géneros y representatividad de 7,78 % y finalmente la familia Euphorbiaceae con 12 géneros que representan el 7,19 % de la riqueza. Todas las familias representadas por tres o más géneros ascienden al 68,86 % de la riqueza registrada en la zona.

Tabla 13. Familias con mayor número de géneros identificadas para las 38 parcelas

| Familia | No. Gén. | % Repres. |
|-----------------------------------|------------|------------|
| Rubiaceae | 14 | 8,38 |
| Moraceae | 13 | 7,78 |
| Euphorbiaceae | 12 | 7,19 |
| Fabaceae | 9 | 5,39 |
| Mimosaceae | 7 | 4,19 |
| Arecaceae | 5 | 2,99 |
| Caesalpinaceae | 5 | 2,99 |
| Lauraceae | 5 | 2,99 |
| Melastomataceae | 5 | 2,99 |
| Familias más diversas por géneros | 75 | 44,91 |
| Otras familias | 92 | 55,09 |
| Total | 167 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

La riqueza específica a nivel de géneros (tabla 14) muestra que *Inga* es el género más diverso con 30 especies que representan el 8,88 % de la riqueza, en segundo lugar está el género *Miconia* con 18 especies (5,33 % representatividad) y finalmente, *Protium* con ocho especies y representatividad de 2,37 %.

Tabla 14. Géneros más diversos identificados en las 38 parcelas, de acuerdo con su número de especies

| Género | No. Spp. | % Repres. |
|-----------------------|------------|------------|
| <i>Inga</i> | 30 | 8,88 |
| <i>Miconia</i> | 18 | 5,33 |
| <i>Protium</i> | 8 | 2,37 |
| <i>Pouteria</i> | 7 | 2,07 |
| <i>Virola</i> | 6 | 1,78 |
| <i>Neea</i> | 5 | 1,48 |
| <i>Aspidosperma</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Cecropia</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Crepidospermum</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Cupania</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Guatteria</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Siparuna</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Solanum</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Trattinnickia</i> | 4 | 1,18 |
| <i>Vismia</i> | 4 | 1,18 |
| Géneros más diversos | 110 | 32,54 |
| Otros géneros | 228 | 67,46 |
| Total | 338 | 100 |

Fuente: Elaboración propia



Riqueza ponderada

El índice muestra que alrededor del 63 % de las familias encontradas están representadas por uno o dos géneros y cerca del 42 % de las familias por una o dos especies. Mientras que cerca del 16 % de las familias está representada por más de 5 géneros y cerca del 37 % de las familias presentan más de 5 especies (tabla 15).

Tabla 15. Riqueza de plantas vasculares (géneros por familia, especies por familia y especies por género) registradas en las 38 parcelas

| Rango del número de taxones | Géneros por familia | | Especies por familia | |
|-----------------------------|---------------------|-------|----------------------|-------|
| | Nº | % | Nº | % |
| 1 a 2 | 36 | 63,16 | 25 | 41,67 |
| 3 a 4 | 12 | 21,05 | 13 | 21,67 |
| 5 a 10 | 6 | 10,53 | 15 | 25,00 |
| 11 a 20 | 3 | 5,26 | 7 | 11,67 |
| Relación 1-2 Vs ≥ 3 | 36/21 = 1,71 | | 25/35 = 0,71 | |

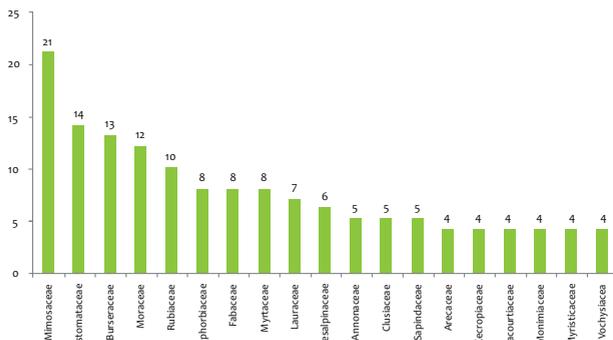
Fuente: Elaboración propia

Diversidad y riqueza por municipio

San José del Guaviare

Para el municipio de San José del Guaviare se registraron un total de 197 especies, distribuidas en 111 géneros y 49 familias (n=20). En cuanto a familias, la más importante es Mimosaceae con 21 spp (10,66 % repres.), sigue Melastomataceae con 14 spp (7,11 % repres.) y finalmente Burseraceae con 13 spp (6,60 % repres.) (figura 15). Las familias representadas por cuatro o más especies en sumatoria ascienden al 74,11% de la riqueza registrada en la zona.

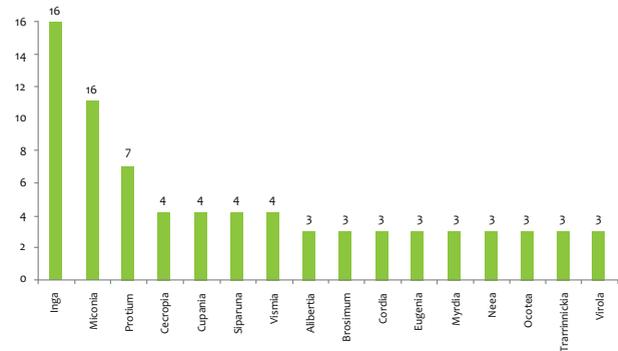
Figura 15. Familias mejor representadas en el municipio de San José del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la diversidad de géneros por familia botánica se encontró que Fabaceae, Menispermaceae, Moraceae y Rubiaceae son las más diversas con siete géneros cada una y representatividad de 6,31% (c/u). Le sigue la familia Euphorbiaceae con seis especies y representatividad de 5,41% y finalmente Caesalpinaceae con cinco especies y representatividad de 4,50%. Vale la pena resaltar que las familias representadas por tres o más géneros en sumatoria ascienden al 59,46% de la riqueza total. Mientras que en la diversidad específica por géneros, se encontró que el género *Inga* es el más diverso, con 16 especies (8,12% repres.), le sigue el género *Miconia* con 11 especies (5,58% repres.) y finalmente el género *Protium* con siete especies (3,55% repres.). Los géneros con tres o más especies en sumatoria ascienden al 39,09% de la riqueza registrada en la zona (figura 16).

Figura 16. Géneros mejor representados en el municipio de San José del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

El Retorno

En las parcelas implementadas en el Retorno (n=9) se registraron 40 familias botánicas, 85 géneros y 132 especies. Las familias mejor representadas corresponden a Mimosaceae con 23 spp (17,42% repres.), siguen Burseraceae y Moraceae con 12 spp c/u (9,09% repres. c/u) y finalmente Melastomataceae con 9 spp (6,82% repres.). Las familias representadas por tres o más especies en sumatoria ascienden al 72,73% de la riqueza registrada en la zona (figura 17).

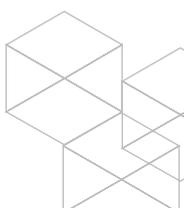
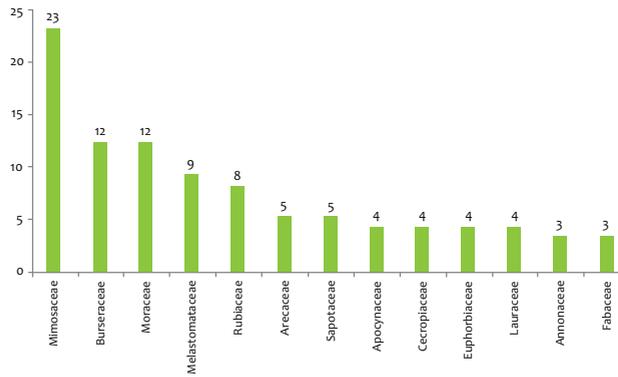


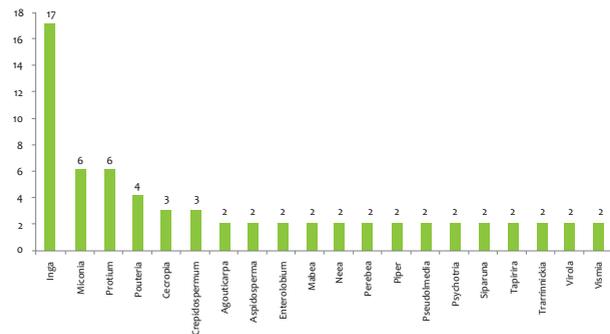
Figura 17. Familias mejor representadas en el municipio de El Retorno



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la diversidad de géneros por familia botánica se encontró que *Moraceae* es la más diversa con 10 géneros y una representatividad de 11,76 %. Le siguen las familias *Mimosaceae* y *Rubiaceae* con seis géneros c/u y representatividad de 7,06 % c/u y finalmente *Anacardiaceae* y *Arecaceae* con cinco géneros c/u y representatividad de 5,88 % c/u. Vale la pena resaltar que las familias representadas por tres o más géneros en sumatoria ascienden al 62,35 % de la riqueza total. Mientras que en la diversidad específica por géneros, se encontró que el género *Inga* es el más diverso, con 17 especies (12,88 % repres.), le siguen los géneros *Miconia* y *Protium* con 6 especies c/u (4,55 % repres. c/u) y finalmente el género *Pouteria* con cuatro especies (3,03 % repres.). Los géneros con dos o más especies en sumatoria ascienden al 50,76 % de la riqueza registrada en la zona. La mitad de los géneros tienen baja diversidad y solo están registradas con una única especie (figura 18).

Figura 18. Géneros mejor representados en el municipio de El retorno

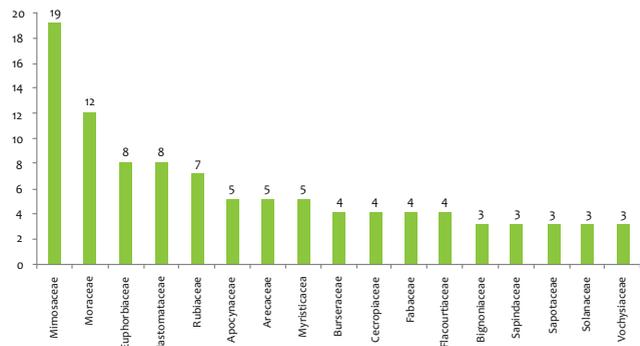


Fuente: Elaboración propia

Calamar

En Calamar se registraron 45 familias, 96 géneros y 137 especies (n=9). En cuanto a familias, la más importante es *Mimosaceae* con 19 spp (13,87 % repres.), sigue *Moraceae* con 12 spp (8,76 % repres.) y finalmente *Euphorbiaceae* y *Melastomataceae* con 8 spp c/u (5,84 % repres. c/u.). Las familias representadas por tres o más especies en sumatoria ascienden al 72,99 % de la riqueza registrada en la zona.

Figura 19. Gráfica de familias mejor representadas en el municipio de Calamar

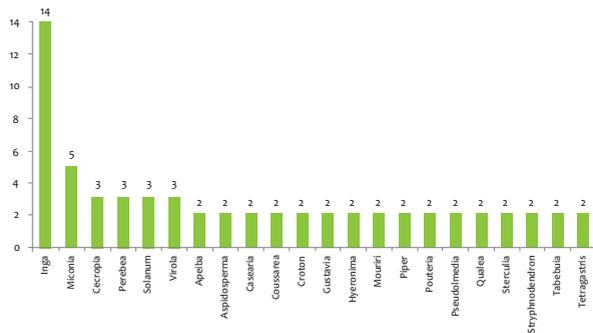


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la diversidad de géneros por familia botánica se encontró que *Moraceae* es la más diversa con 9 géneros y una representatividad de 9,38 %. Le siguen las familias *Euphorbiaceae* y *Rubiaceae* con seis géneros c/u y representatividad de 6,25 % c/u y finalmente *Arecaceae* y *Mimosaceae* con cinco géneros c/u y representatividad de 5,21 % c/u. Vale la pena resaltar que las familias representadas por dos o más géneros en sumatoria ascienden al 75 % de la riqueza total. En cuanto a la diversidad específica por géneros, se encontró que el género *Inga* es el más diverso, con 14 especies (10,22 % repres.), le sigue el género *Miconia* con 5 especies (3,65 % repres.) y finalmente los géneros *Cecropia*, *Perebea*, *Solanum* y *Virola* con tres especies c/u (2,19 % repres. c/u). Los géneros con dos o más especies en sumatoria ascienden al 45,99 % de la riqueza registrada en la zona. La mitad de los géneros tienen baja diversidad y solo están registradas con una única especie (figura 20).



Figura 20. Gráfica de los géneros mejor representados en el municipio de Calamar



Fuente: Elaboración propia

Estructura general

Para el análisis estructural, solo se tomaron los estratos arbóreo y arbustivo. El área total muestreada corresponde a 1,52 ha (38 parcelas de 20 x 20 m), en donde se registraron un total de 1264 individuos (33,26 individuos por parcela).

Se registraron en total 58 familias, las más abundantes fueron Mimosaceae quien presentó 168 individuos (13,29 %) distribuidos en 7 géneros y 32 especies, la especie más conspicua fue *Inga edulis*, con 32 individuos, Cecropiaceae con 106 individuos (8,39 %) distribuidos en 2 géneros y 6 especies, destacándose *Cecropia ficifolia* con 49 individuos. Melastomataceae con 97 individuos (7,67 %) distribuidos en 4 géneros y 16 especies, destacándose *Bellucia grossularioides*, con 43 individuos. Euphorbiaceae con 94 individuos (7,44 %) distribuidos en 12 géneros y 15 especies, destacándose *Croton matourensis* con 61 individuos. Arecaceae con 83 individuos (6,57 %) distribuidos en 5 géneros y 6 especies, destacándose *Astrocaryum chambira* con 38 individuos. Moraceae 59 individuos (4,67 %) distribuidos en 11 géneros y 20 especies destacándose *Pseudolmedia laevis* con 16 individuos. Burseraceae 57 individuos (4,51 %) distribuidos en 4 géneros y 14 especies destacándose *Tetragastris panamensis* con 8 individuos. Finalmente Rubiaceae con 54 individuos (4,27 %) distribuidos en 13 géneros y 16 especies destacándose *Capirona decorticans* con 16 individuos. Las 50 familias restantes presentaron menos de 50 individuos. En el anexo 1 se encuentra la lista de especies censadas.

Estructura vertical

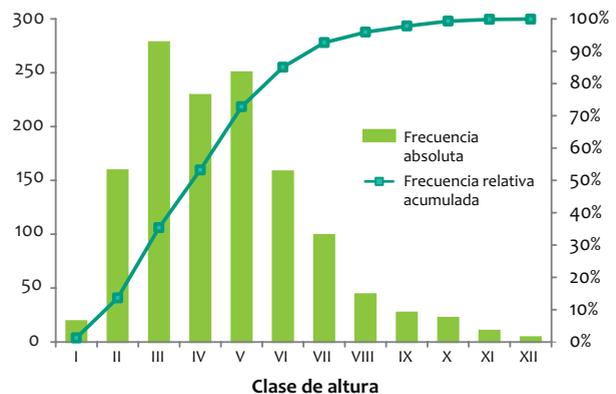
Las alturas de los 1264 individuos presentes en las 38 parcelas se encuentran distribuidas entre 1,4 y 30,5 m. El número de individuos de acuerdo con los rangos de altura muestra que el 83,78 % de estos, se encuentran concentrados en los intervalos de clase II a VI, con alturas que varían entre 3,8 y 15,9 m. Mientras que el intervalo de clase I, presentó un 1,27 % de los individuos, los intervalos VII a XII presentaron un 14,95 % de los individuos totales (tabla 16).

Tabla 16. Distribución de los individuos de acuerdo con los intervalos de altura registrados

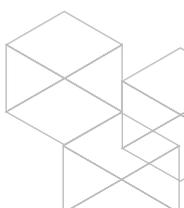
| Clase | Min | Max | Frecuencia | % acumulado |
|--------------|------|------|-------------|---------------|
| I | 1,4 | 3,8 | 16 | 1,27 |
| II | 3,8 | 6,2 | 156 | 12,34 |
| III | 6,3 | 8,7 | 275 | 21,76 |
| IV | 8,7 | 11,1 | 226 | 17,88 |
| V | 11,1 | 13,5 | 247 | 19,54 |
| VI | 13,5 | 15,9 | 155 | 12,26 |
| VII | 16,0 | 18,4 | 96 | 7,59 |
| VIII | 18,4 | 20,8 | 41 | 3,24 |
| IX | 20,8 | 23,2 | 24 | 1,90 |
| X | 23,2 | 25,6 | 19 | 1,50 |
| XI | 25,7 | 28,1 | 7 | 0,55 |
| XII | 28,1 | 30,5 | 2 | 0,16 |
| Total | | | 1264 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Distribución por alturas por frecuencias de clase de los individuos registrados en vegetación secundaria



Fuente: Elaboración propia



Clases diamétricas

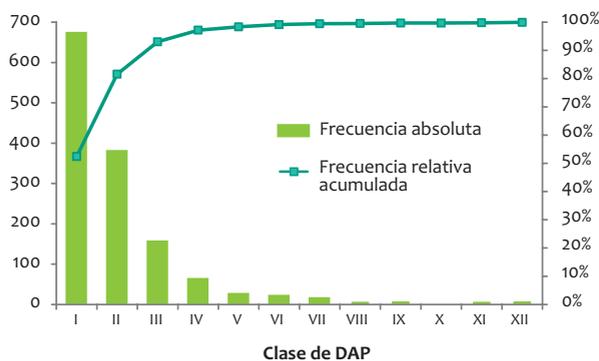
La distribución de acuerdo con el DAP agrupa al 97,15 % de los individuos en los intervalos de clase I a IV (5,0-35,0 cm), mientras el 2,85 % de los individuos se agruparon en los intervalos de clase V-XII (35,0-95,0 cm) (tabla 17, figura 22).

Tabla 17. Distribución de los individuos encontrados en las parcelas de acuerdo con las clases diamétricas

| Clase | Min | Max | Frecuencia | % acumulado |
|--------------|-------|-------|-------------|-------------|
| I | 5 | 12,50 | 662 | 52,37 |
| II | 12,50 | 20,00 | 369 | 29,19 |
| III | 20,00 | 27,50 | 145 | 11,47 |
| IV | 27,50 | 35,00 | 52 | 4,11 |
| V | 35,00 | 42,50 | 15 | 1,19 |
| VI | 42,50 | 50,00 | 10 | 0,79 |
| VII | 50,00 | 57,50 | 4 | 0,32 |
| VIII | 57,50 | 65,00 | 1 | 0,08 |
| IX | 65,00 | 72,50 | 2 | 0,16 |
| X | 72,50 | 80,00 | 0 | 0,00 |
| XI | 80,00 | 87,50 | 1 | 0,08 |
| XII | 87,50 | 95,00 | 2 | 0,24 |
| Total | | | 1264 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Distribución del DAP por frecuencia de clases en vegetación secundaria



Fuente: Elaboración propia

Área basal

Para el total de los 1264 individuos registrados en las 38 parcelas, el área basal fue de 2905,98 m², que corresponde al 19,12 % del área total muestreada. Los individuos encontrados se distribuyeron en 12 intervalos de clase, donde el 92,96 % se agruparon en el intervalo I.

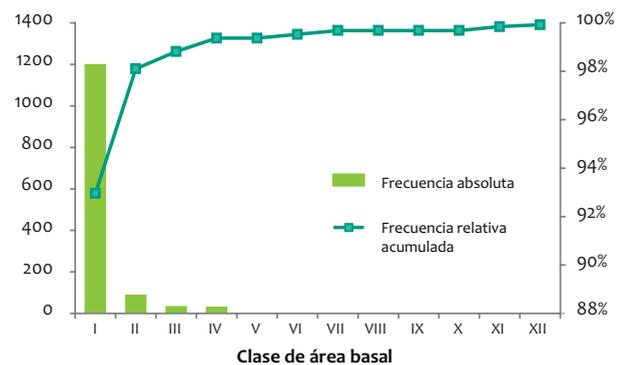
El intervalo II agrupó el 5,14 % restante de los individuos, mientras que los diez intervalos restantes agruparon tan solo el 1,9 % (tabla 18, figura 23).

Tabla 18. Distribución de los individuos de acuerdo con las áreas basales

| Clase | Min | Max | Frecuencia | % acumulado |
|--------------|--------|--------|-------------|-------------|
| I | 3,1 | 593,6 | 1175 | 92,96 |
| II | 593,6 | 1184,0 | 65 | 5,14 |
| III | 1184,0 | 1774,4 | 9 | 0,71 |
| IV | 1774,4 | 2364,8 | 7 | 0,55 |
| V | 2364,8 | 2955,3 | 0 | 0,00 |
| VI | 2955,3 | 3545,7 | 2 | 0,16 |
| VII | 3545,7 | 4136,1 | 2 | 0,16 |
| VIII | 4136,1 | 4726,5 | 0 | 0,00 |
| IX | 4726,5 | 5316,9 | 0 | 0,00 |
| X | 5316,9 | 5907,4 | 0 | 0,00 |
| XI | 5907,4 | 6497,8 | 2 | 0,16 |
| XII | 6497,8 | 7088,2 | 1 | 0,16 |
| Total | | | 1264 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Distribución del área basal por frecuencia de clases en vegetación secundaria



Fuente: Elaboración propia

Índice de valor de importancia para las familias (IVF)

Para las 38 parcelas de vegetación secundaria las familias que presentaron mayor IVF fueron Mimosaceae (39,0 %), Euphorbiaceae (20,77 %), Melastomataceae (19,28 %), Cecropiaceae (18,47 %) y Moraceae (16,77 %). Arecaceae (15,10 %), Burseraceae (13,34 %), Rubiaceae (12,39 %), Apocynaceae (10,13 %) y Lauraceae (9,30 %). Estas diez familias acumularon el 174,55 % del IVF total,



mientras que las 48 familias restantes presentaron IVF bajo (entre 8,08% y 0,46%), lo que corresponde al 125,45% del IVF total.

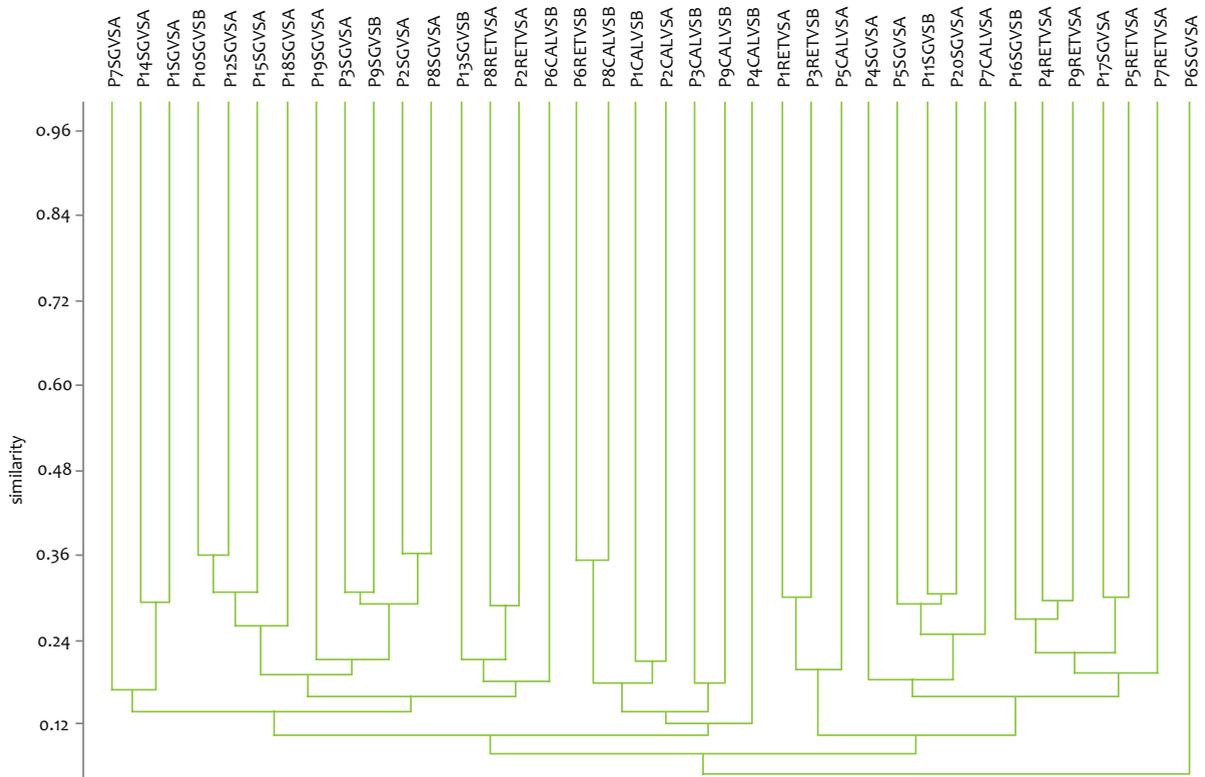
Índice de valor de importancia para las especies (IVI)

El valor de IVI para las especies registradas varió entre 11,53% y 0,09%, siendo las más importantes *Croton matourensis*, *Cecropia sciadophylla*, *Astrocaryum chambira*, *Cochlospermum orinocense*, *Bellucia grossularioides*, *Himatanthus articulatus*, *Inga edulis*, *Cecropia ficifolia* y *Schefflera morototoni*. Estas especies representan el 63,67% del IVI total, las 270 especies restantes presentan el 36,33%.

Similitud florística entre las parcelas

Se elaboró una matriz de presencia/ausencia de especies, la cual estaba compuesta por 338 especies. Mediante el Índice de Similitud de Morisita, se construyó un dendrograma (figura 24), en donde la similitud florística encontrada no permite separar las unidades de vegetación secundaria entre las localidades, ni por estratos alto y bajo. Aunque se distinguen tres grupos generales, estos comparten muchas especies entre sí, lo cual no permite una separación robusta, pues el porcentaje de similitud se encuentra por debajo del 36%.

Figura 24. Dendrograma de similitud para las 38 parcelas



Fuente: Elaboración propia



Conclusiones y recomendaciones

- En los levantamientos florísticos que se realizaron en las 36 parcelas de BADTF, se registraron 5414 individuos del estrato arbóreo (≥ 10 cm DAP) y se identificaron un total de 61 familias botánicas, representadas en 187 géneros y 589 especies. Las familias botánicas más importantes por tener una mayor representación en número de especies, individuos y área basal, corresponden a Moraceae (10,32 %), Burseraceae (10,02 %) y Arecaceae (9,88 %).
- En la distribución diamétrica del estrato arbóreo del BADTF se observa una jota (J) invertida típica de los bosques tropicales, en donde se observa una tendencia decreciente, en la cual aproximadamente el número de individuos de la clase siguiente tiene la mitad de los individuos de la clase actual.
- Las especies que presentaron los valores más altos de IVI en las unidades de bosque que se muestrearon, corresponden a *Pseudolmedia laevis*, *Goupia glabra*, *Virola elongata*, *Terminalia amazonia*, *Protium sagotianum* y *Crepidospermum rhoifolium*; y en acuerdo con estudios anteriormente realizados, las palmas (*Astrocaryum chambira*, *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus bataua*, *Socratea exorrhiza*) siguen siendo las especies más comunes e importantes en los relictos de bosque del departamento del Guaviare.
- Los valores de las especies más importantes se encuentran en un rango entre 5,06 y 8,44, valores en general por debajo de 12,5 – 52,5 de los IVI de las especies arbóreas más importantes de otros bosques amazónicos (Korning et al., 1991). Esta tendencia puede explicarse por la alta diversidad y por la concentración de individuos en categorías diamétricas bajas (Giraldo, 2004).
- En el área de estudio en total, para las 38 parcelas de VS trabajadas se registraron 60 familias botánicas, 167 géneros y 338 especies plenamente identificadas y corroboradas en bases de datos reconocidas. La familia botánica más importante es *Mimosaceae* con 41 especies que representan el 12,13 % de la riqueza registrada en la zona; en segundo lugar está la familia *Melastomataceae* y en tercer puesto *Moraceae*. Todas las familias botánicas registradas con cinco o más especies en sumatoria tienen una representatividad del 77,81 % de la riqueza; sin embargo, la mayor parte de las familias están representadas por pocas especies (4 o menos cada una).
- El valor de IVI para las especies registradas varió entre 11,53 % y 0,09 %, siendo las más importantes *Croton matourensis*, *Cecropia sciadophylla*, *Astrocaryum chambira*, *Cochlospermum orinocense*, *Bellucia grossularioides*, *Himatanthus articulatus*, *Inga edulis*, *Cecropia ficifolia* y *Schefflera morototoni*. Estas especies representan el 63,67 % del IVI total, las 270 especies restantes presentan el 236,33 %.
- El atributo estructural más importante para la definición de las unidades de vegetación secundaria es el área basal. Por localidad, la cualidad estructural de cobertura es la que menos sirve para diferenciar la vegetación secundaria alta y baja, ya que con esta no se detectan diferencias estadísticamente significativas.
- Luego de realizar los respectivos análisis estructurales se pudo corroborar que efectivamente la vegetación muestreada corresponde a la denominada cobertura de ‘vegetación secundaria en diferentes estadios de sucesión’, esto dado por su composición florística y las características estructurales encontradas en las localidades de trabajo. Las especies reportadas con mayor índice de valor de importancia (IVI) corresponden efectivamente a la cobertura de vegetación secundaria, ya que son elementos comunes en áreas de regeneración natural.
- En términos de diversidad (composición y estructura) de la VS la localidad más importante es San José, seguida de Calamar y por último el Retorno. Esto puede deberse al esfuerzo de muestreo diferencial entre localidades, que permite a San José registrar mayores valores de riqueza a todo nivel taxonómico.
- A nivel de familias botánicas, se compartieron 31 de estas entre todas las localidades y a nivel de

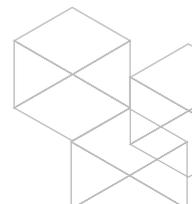


especies se compartieron 32. La proporción de elementos compartidos entre todas las localidades es consistente con la proporción de similitud entre localidades pareadas, tal que esta cualidad se mantiene constante a cualquier nivel de análisis.

- Luego de realizar los levantamientos respectivos y análisis estructurales, se pudo corroborar que efectivamente dicha vegetación corresponde a la denominada 'vegetación secundaria en diferentes estadios de sucesión'.
- La riqueza específica a nivel de géneros en VS se reparte de forma inequitativa entre los grupos, de
- Al realizar la comparación entre las parcelas mediante un análisis de similitud simple de presencia-ausencia, se pudo observar que no había diferencias entre las localidades y que todo parece provenir de una misma muestra. Esto debido a la complementariedad que hubo entre las tres parcelas.

Bibliografía

- Camacho** J., Riley, J., Nelson, L. A., Carbonell, E., Barahona, C., Pla, L. Sahai, H., Behar, R. & Ojeda, M. M. (1997). *Enseñanza de la biometría: problemas, experiencias y soluciones*. San José: Universidad Nacional Costa Rica. 106 pp.
- Condit**, R., Ashton, P. S., Baker, P., Bunyavejchewin, S., Gunatilleke, S., Gunatilleke, N., Hubbell, S. P., Foster, R. B., Itoh, A., LaFrankie, J. V., Lee, H. S., Losos, E., Manokaran, N., Sukumar, R. & Yamakura, T. (2000). *Spatial patterns in the distribution of tropical tree species*. *Science*, 288; 1414-1418.
- Colwell**, R. K. (2013). *Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*. Versión 9.1.0. Storns. Connecticut: University of Connecticut.
- Farina A.** (1998). *Principles and methods in landscape ecology*. London: Cambridge University Press.
- Forero**, E. & Romero, C. (Eds.). (2005). *Estudio en Leguminosas Colombianas*. Colección Jorge Álvaro Lleras, 25. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Forero**, E. (Ed.). (2009). *Estudios en Leguminosas Colombianas II. Biblioteca José Jerónimo Triana No. 21*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia.
- García**, J. A. (2014). *Informes de avance 2,4 para la investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigación Científicas SINCHI. 116 p.
- Gentry**, A. (1996). *A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru), with supplementary notes on herbaceous taxa*. Chicago: The University of Chicago Press. 895 pp.
- Giraldo** Benavides, B. (2004). *Conservación, manejo y aprovechamiento sostenible del bosque en el área de colonización del Guaviare*. Leticia: Instituto Amazónico de Investigación Científicas SINCHI. 230 p.
- Giraldo** Benavides, B., Vargas Ávila, G., Zubieta Vega, M., Barrera García, J. & Montero González, M. I. (2013). *Investigación en sistemas productivos sostenibles en la Amazonia norte colombiana (arreglos agroforestales, arreglos de enriquecimiento forestal)*. Leticia: Instituto Amazónico de Investigación Científicas SINCHI. 313 p.
- Giraldo**, B., Zubieta, M., Vargas, G. & Barrera, J. (2013). *Bases técnicas para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare, Amazonia colombiana*. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigación Científicas SINCHI. 230p.
- Hammer**, O. (1999-2016). *Paleontological Statistics. Versión 3.12*. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo.



- Instituto** Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2009). Vegetación secundaria o en transición. *Fichas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia Colombiana*. Bogotá D.C. Disponible en: http://siatac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra/fichasdepatrones;jsessionid=3950143D66D904E2AB8CE94E308CB905?p_p_id=54_INSTANCE_K1kl&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column2&p_p_col_count=1&_54_INSTANCE_K1kl_struts_action=%2Fwiki_display%2Fview&_54_INSTANCE_K1kl_nodeName=Fichas+de+Patrones&_54_INSTANCE_K1kl_title=Vegetaci%C3%B3n+secundaria+o+en+transici%C3%B3n
- Instituto** Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2013). *Propuesta para financiación de proyectos por fondos de regalías para investigación en ciencia y tecnología. Departamento del Guaviare: Investigación en Relictos de bosque como estrategia para generar Bienes y Servicios ambientales en el departamento del Guaviare*. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 116 p.
- Instituto** Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2006). *Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana*. Bogotá D. C.: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 249 p.
- Marín, J.** (2002). Colonización y recomposición campesina en el Guaviare. *Revista Memoria y sociedad*. 7 (13). Pp. 117-158.
- Matteucci, S. D. & Colma, A.** (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C.: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 166 p.
- Melo, O. A.** (2000). *Evaluación ecológica y silvicultural de los fragmentos de vegetación secundaria, ubicados en áreas de bosque seco tropical en el norte del departamento del Tolima*. Ibagué: Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. 150 p.
- Melo, O. A. & Vargas, R.** (2003). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Ibagué: Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. 222 p.
- Palik, B. & Engstrom, T.** (1999). *Species composition*. En M. Hunter. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press. 94 p.
- Pennington, T. D., Revelo, N. & Linklater, R.** (Ed.). 1997. *El género Inga en el Ecuador. Morfología, distribución y usos*. Londres: The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Pinto, P.** (Ed.). (1983-2015). *Serie de Monografías "Flora de Colombia"*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia y Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Rangel, J. O. & Velásquez, A.** (1997). *Métodos de estudio de la vegetación*. En: J. O. Rangel, P. D. Lowy. & M. Aguilar. *Colombia Diversidad Biótica II, Tipos de Vegetación en Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. pp. 89- 367.
- Stevenson, P. & Rodríguez, M.** (2008). *Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el Guaviare, Amazonia colombiana*. *Revista Colombia Forestal*. 11. pp. 5-17.
- Steyermark, J., Berry, P. & Holst, B.** (1995). *Flora of the Venezuelan Guayana*. Vol 1. Portland, Oregon, USA: The Missouri Botanical Garden. Timber Press. 320 pp.
- Vallejo, M. I., Londoño, A. C., López, R., Galeano, G., Álvarez, E. & Devia, W.** (2005). *Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia Volumen I. Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 310 p.
- Velásquez, A., Bocco, G. & Torres, A.** (2001). *Turning scientific approaches into practical conservation actions*. *Environmental Management*. 5: 216-231.
- Zanoni, T. (Ed.).** (1967-2015). *Serie de Monografías "Flora Neotropica"*. New York: New York Botanical Garden Press.



2.

Diversidad Funcional y su Relación con la Provisión de SE en Bosques Altodensos del Guaviare

Pilar Buchelli, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo



Resumen

Los relictos de bosques en el departamento del Guaviare se caracterizan por tener una alta diversidad de especies que proporcionan un alto potencial para proveer servicios ecosistémicos a las comunidades locales.

La finalidad de este trabajo fue conocer la influencia de la diversidad funcional y su relación con la provisión de servicios ecosistémicos (SE) mediante la evaluación de rasgos funcionales aéreos de diez especies priorizadas de acuerdo con su frecuencia y dominancia en el bosque alto denso de tierra firme. Se tomaron muestras de individuos reproductivamente maduros para medir rasgos foliares, de tallo y toda la planta siguiendo protocolos estandarizados. Por análisis multivariado se agruparon las especies de acuerdo con la similitud en sus características; se obtuvieron tres tipos funcionales de plantas: TFP 1 compuesto por *E. precatória*, *O. bataua*, *O. sp.* y *A. chambira* asociadas a altos valores de grosor de hoja, contenido de materia seca en la hoja y raquis, lo que las hace más resistentes y con baja tasa de descomposición. El TFP 2 lo integra *T. amazonia*, *C. cateniformis* y *G. glabra* asociadas a densidad de madera y DAP altos relacionados positivamente a mayor resistencia y durabilidad del tallo y bajas tasas de crecimiento; y el TFP 3 conformado por *V. elongata*, *P. laevis*, *P. sagotianum* y *P. cuspidata* comparten características asociadas a contenido relativo de agua tanto foliares y de rama altos, pero bajos en materia seca, indicando menor limitación del crecimiento de las plantas con alturas intermedias y mayor optimización del uso del recurso fotosintético. La composición funcional vegetal puede ofrecer información en términos de los beneficios que las sociedades humanas obtienen de los ecosistemas, también llamados servicios ecosistémicos.

Palabras clave: Diversidad funcional, rasgos, servicios ecosistémicos, relictos, análisis funcional

Introducción

El conocimiento de las características de las plantas está creciendo rápidamente, así también el análisis funcional del entorno de las especies vegetales y la diversidad funcional (DF) que estas ofrecen. El control de la estabilidad de comunidades y ecosistemas ha sido foco

de un largo debate. Los datos ecológicos claves para la flora en Colombia y específicamente para la región amazónica son demasiado pocos y/o demasiado dispersos para ser eficaces, además no se posee una base de datos estandarizada de los rasgos de la flora amazónica, así también no se gestiona una planificación, conservación de la naturaleza y de restauración; tampoco se operan con eficacia y la biodiversidad seguirá disminuyendo por las actividades humanas en paisajes naturales que han llevado a la fragmentación de los bosques originales (Chain, 2009).

Por esta razón, es importante comprender los mecanismos fisiológicos que facilitan la supervivencia de las plantas en las condiciones óptimas (Chapin, 1991). Los rasgos vegetales son relevantes para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en el cambio de los paisajes amazónicos y serán una herramienta útil en la planificación, para la conservación de la naturaleza y la restauración en la investigación aplicada. Para ello necesitamos saber si las plantas pueden persistir y regenerarse en su actual hábitat y / o pueden colonizar nuevos hábitats. Además, en la actualidad las investigaciones en ecología vegetal exploran la relación existente entre diversidad y funcionamiento ecosistémico, para predecir la biodiversidad vegetal en un paisaje cambiante; la información sobre si las plantas pueden persistir y regenerarse en sus hábitats existentes y / o pueden colonizar nuevos hábitats que se necesita (Díaz & Cabido, 2001).

Existen en la actualidad metodologías para su evaluación, una de ellas es el enfoque de tipos funcionales de plantas (TFP), los cuales permiten reducir la complejidad de la diversidad de especies en torno a una función ecológica a unos tipos de plantas clave, agrupando especies con funcionamiento similar independiente de su filogenia (Gitay et al. 1999, Díaz, 2001). La aplicación del enfoque funcional depende de los procesos ecológicos de interés, el tipo de ecosistema y la escala espacio-temporal (Hooper et al., 2002). Determinar los rasgos de las plantas a evaluar según sea su respuesta a las variaciones del ambiente, permite manifestar su relación con la función ecosistémica de interés (Díaz & Cabido, 1997). La mejora de la biodiversidad funcional en los ecosistemas y agroecosistemas es una estrategia clave para lograr la sostenibilidad ecológica a la producción,



y por lo tanto, tenemos que desarrollar tecnologías agroecológicas y los sistemas que establecen que la multifuncionalidad es necesario (Altieri, 1999) con el fin de evaluar las amenazas inminentes y desafíos globales.

Por lo anterior, esta investigación se centró en evaluar las características de las plantas que describen y son productoras de la biodiversidad vegetal en un ecosistema. Además, la investigación de la DF y rasgos funcionales en bosques tropicales amazónicos es una necesidad inmediata para adquirir conocimiento científico que aporte al entendimiento de su funcionalidad, para generar datos que permitan conocer su respuesta funcional a la intervención y a los cambios en el régimen

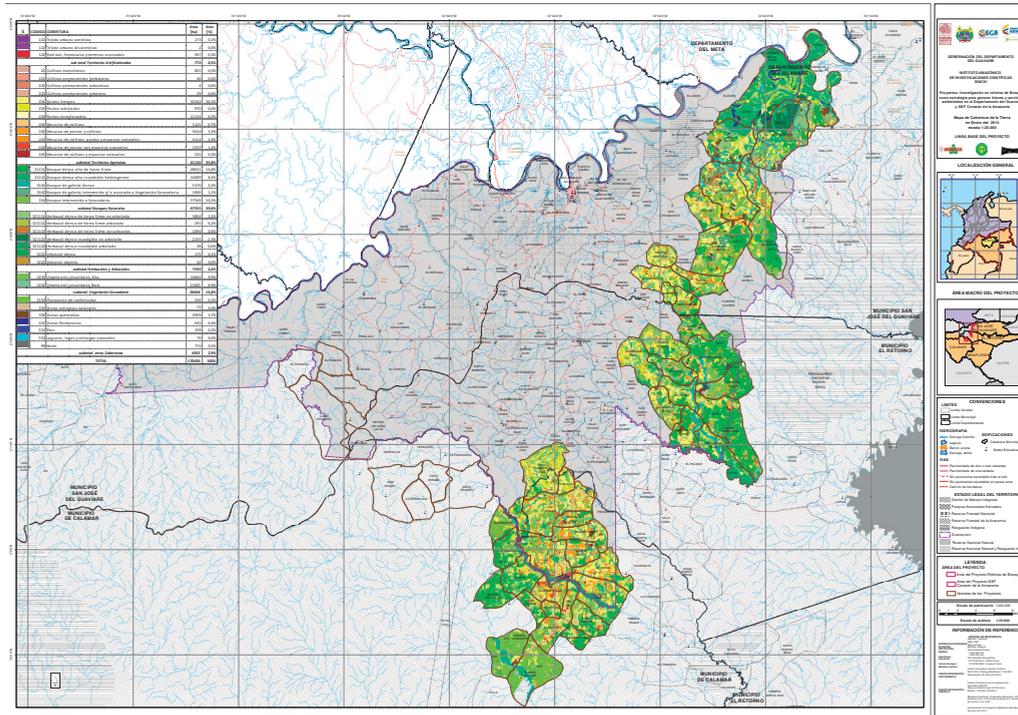
climático en el neotrópico a partir de rasgos de hoja, tallo y toda la planta.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio estuvo basado en la propuesta de una red ecológica de conservación para la conectividad entre relictos de bosque a través de la generación de conocimiento en la visión de SE. Los relictos de bosque ocupan un área de 89.929,71 ha dentro del área de susstracción de la reserva forestal en el departamento del Guaviare (figura 1), distribuidos en los municipios de San José, el Retorno y Calamar (SINCHI, 2013).

Figura 1. Mapa del área del proyecto

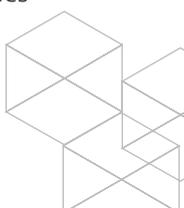


Fuente: Elaboración propia

Establecimiento de parcelas y muestreo florístico

En los siete parches priorizados se establecieron treinta (30) parcelas temporales de muestreo (PTM) de 50 x 50 m (0,25 ha). Tamaño que es más apropiado para alcanzar el error requerido en las estimaciones de carbono ($\pm 10\%$ con 95 % de confianza) en proyectos forestales (Emmer, 2007; Biocarbon Fund 2008, Rüginitz et al., 2000).

Para el muestreo florístico se tuvieron en cuenta los individuos vivos con un DAP (diámetro a la altura del pecho medido a 1,30 m con una cinta diamétrica) ≥ 10 cm. Se colectaron muestras botánicas para su identificación cuya metodología se basa en las claves taxonómicas de la flora de la región amazónica y experiencias destacables



en campo de estudios florísticos anteriores. Todo el proceso de identificación se realizó en el Herbario Amazónico Colombiano (COAH).

Selección de las especies

Se determinó la lista de especies que represento el 43 % de la frecuencia y dominancia (Cornelissen et al., 2003) del total de las especies determinadas presentes en las parcelas muestreadas. A continuación se detallan los cálculos para construir la selección:

Frecuencia: existencia o falta de una especie en determinada parcela. La frecuencia absoluta se expresa en porcentajes (100 % = existencia en todas las parcelas). La frecuencia relativa de una especie se calcula como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.

Dominancia: grado de cobertura de las especies (área basal), es decir el espacio ocupado por ellas expresado en $m^2 \times ha^{-1}$ a partir de la medición de DAP ($DAP^2 \times \pi / 4 \times 10.000$). La dominancia absoluta de una especie, es definida por la suma de las áreas basales individuales. La dominancia relativa se calcula como la proporción de una especie en el área basal total evaluada (100 %) (Lamprecht, 1990).

La lista (43 % de la frecuencia y dominancia) la integra 10 especies de estudio, denominadas especies priorizadas: *Goupia glabra* (parature), *Pseudolmedia laevis* (leche perra), *Terminalia amazonia* (macano), *Astrocaryum chambira* (cumare o chambira), *Virola elongata* (virola), *Protium sagotianum* (cariaño o protium), *Cedrelinga cateniformis* (cedro achapo), *Oenocarpus* sp. 1 (seje), *Euterpe precatória* (asaí) y *Pouteria cuspidata* (pouteria).

Las especies seleccionadas pertenecen a 8 familias botánicas y 10 géneros. Los individuos de cada especie se seleccionaron teniendo en cuenta las parcelas donde estuvieran presentes el mayor número posible de especies priorizadas y con el mayor DAP (área basal); además que estuvieran distribuidas en los tres municipios (tabla 1).

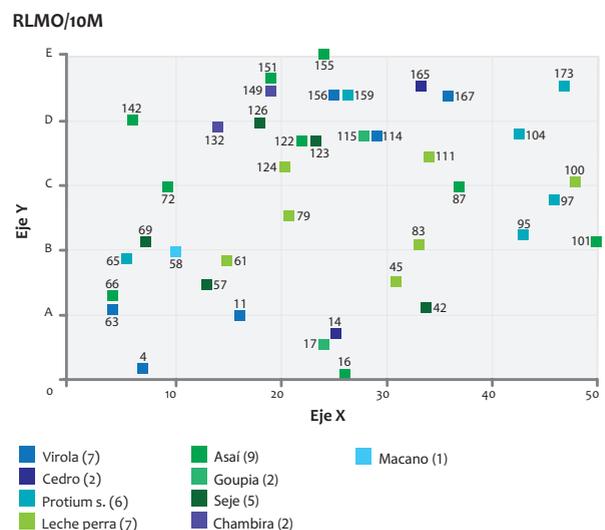
Tabla 1. Parcelas de muestreo de las especies para rasgos funcionales

| Municipio | Vereda | Parche | Parcela |
|-----------|-----------------|----------|-------------|
| San José | Guacamayas | SGUA | SGUA/P14C |
| Retorno | La Morichera | RLMO | RLMO/P3_Bo2 |
| Retorno | La Morichera | RLMO | RLMO/09M |
| Retorno | La Morichera | RLMO | RLMO/10M |
| Retorno | Chaparral Medio | RCME | RCME/08C |
| Retorno | Chaparral Bajo | RCBA | RCBA/11C |
| Calamar | La Gaitana | CDIU_LAD | CLAD/03B |

Fuente: Elaboración propia

Para cada parcela se elaboró un croquis de localización de los individuos utilizando las coordenadas x, y registrados en los inventarios de vegetación (figura 2).

Figura 2. Croquis de una de las parcelas donde se seleccionaron los individuos para la medición de rasgos funcionales



Fuente: Elaboración propia

También se tiene un criterio para la escogencia del individuo al cual se midió los rasgos funcionales para las comparaciones entre especies robustas. Los rasgos fueron medidos en los individuos reproductivamente maduros, de aspecto saludable, y en lo posible para mantener la coherencia entre los conjuntos de mediciones, se utilizó el mismo individuo para medir tantos rasgos diferentes como sea posible (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).



Determinación de rasgos funcionales de especies priorizadas

Los caracteres funcionales, también llamados rasgos funcionales (o *traits* en inglés) son características morfológicas, fisiológicas y/o fenológicas medibles a nivel individual, desde el nivel celular hasta un organismo, que influyen en su crecimiento, reproducción y supervivencia y/o en los efectos de dicho organismo en el ecosistema (Lavorel & Garnier, 2002; Cornelissen *et al.*, 2003; Violle *et al.*, 2007).

Muestreo de rasgos

La selección de rasgos a medir se realizó con base en aquellas características relevantes que poseen las plantas como respuestas a la variación ambiental (Díaz *et al.*, 1997; Casanoves, *et al.*, 2011). La colecta, procesamiento de muestras y medición de rasgos foliares se realizó con base en los protocolos estandarizados descritos por Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013) Cornelissen *et al.* (2003) y Chave (2005) para la densidad de la madera y otros protocolos disponibles para la mayoría de las medidas de cada rasgo de la tabla 2.

Tabla 2. Rasgos funcionales de especies arbóreas susceptibles de medición en relictos de bosque del departamento del Guaviare

| Rasgo | Descripción | Unidad |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Toda la planta | | |
| HT | Altura total | m |
| AF | Altura del fuste | m |
| HC | Altura de copa | m |
| DC | Densidad de copa | % |
| Co_D | Diámetro de copa | m |
| FC | Forma de la copa | Categorico |
| Hoja | | |
| FH | Fenología de la hoja | |
| LP | Longitud del peciolo | mm |
| GH | Grosor de la hoja | mm |
| CMSH | Contenido de material seca en la hoja | mg g ⁻¹ |
| CRAH | Contenido relativo de agua en la hoja | % |
| Tallo | | |
| DAP | Diámetro a la altura del pecho | cm |
| CMSR | Contenido de material seca en la rama | mg g ⁻¹ |
| CRAR | Contenido relativo de agua en la rama | % |
| DM | Densidad de la madera | gr cm ³ ⁻¹ |

Fuente: Elaboración propia

Medición de los rasgos funcionales

A continuación se describen brevemente las características de las mediciones de acuerdo con a las especificaciones y logística requerida para su correcta medición.

Rasgos de toda la planta

Los rasgos correspondientes a HT, AF, HC y Co_D, se tomaron de la base de datos general compilada de los inventarios de vegetación realizados en los relictos de bosque dentro de los parches de bosque alto denso de tierra firme evaluados.

Densidad de copa (DC): Se midió la densidad de la copa con un densímetro esférico (estándar Cajansus, LIS, convexo; Forestry Suppliers Inc., EE.UU.) con cuatro medidas en cada una de las direcciones de los puntos cardinales (N, S, E y O) los valores se expresan en porcentaje.

La forma de la copa (FC): se obtuvo calculando la razón que existe entre el diámetro de la copa y la longitud de la copa. Se clasificó la copa como: a) elíptica horizontal si el valor de la razón es mayor que uno (1), b) elíptica vertical cuando el valor de la razón es menor que uno (1), y c) circular si el valor de la razón es igual a uno (1) (tabla 3).

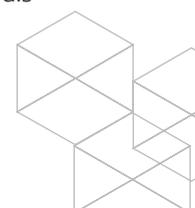
Tabla 3. Formas de copa según la razón diámetro de copa y la longitud de la copa

| Razón diámetro de copa / longitud o altura de copa | Forma | |
|--|---------------------|---|
| Mayor que 1 | Elíptica horizontal |  |
| Menor que 1 | Elíptica vertical |  |
| Igual a 1 | Circular |  |

Fuente: Elaboración propia

Rasgos foliares

El material colectado correspondió a la parte de la copa con máxima exposición a la luz y para especies del dosel inferior se seleccionaron aquellas partes más expuestas a la luz del sol. Se utilizó escaladores para la colecta de las muestras en todos los individuos. El valor de cada rasgo corresponde al promedio de 7 o 5 individuos diferentes por especie dis-



tribuidos en las parcelas de inventario de vegetación. A continuación se indican la definición de cada rasgo y los procedimientos para su medición:

- Fenología de la hoja (FH): Se obtiene calculando el número de meses de la época seca que la planta tiene hojas divididas por el número total de meses durante la época seca.
- Contenido de material seco en la hoja (CMSH): Es el peso seco de una hoja dividido por su peso fresco y está dado en $\text{mg} \times \text{g}^{-1}$.
- Contenido relativo de agua en la hoja (CRAH): es la fracción de agua almacenada en una hoja en comparación con la cantidad de agua almacenada cuando se satura. La ecuación utilizada es la siguiente (González & González Vilez, 2001):

$$\text{CRAH} = \frac{(\text{peso fresco} - \text{peso seco})}{(\text{peso saturado} - \text{peso seco})}$$

- Longitud del pecíolo (LP) y grosor de la hoja (GH): con el uso de un calibrador vernier se mide la longitud del pecíolo excluyendo el nervio central y nervaduras.

Rasgos de tallo

- Contenido de material seco en la rama (CMSR): Se recolectan al azar tres segmentos de 25 cm de las ramas terminales de cada individuo. Se registra el peso fresco de la muestra, a continuación, se seca en un horno y se vuelve a pesar.
- Contenido relativo de agua (CRAR): Es el valor del peso seco dividido por su masa saturada de agua es CMSR que se expresa en $\text{mg} \times \text{g}^{-1}$.
- Densidad de la madera (DM): Se obtuvo de acuerdo con el protocolo descrito por Chave (2005). La muestra se obtiene extrayendo del fuste con un barrenador de incremento o de Pressler como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Obtención de la muestra para densidad de madera



Fuente: Elaboración propia

Identificación de tipos funcionales de plantas (TFP)

Para observar la relación entre rasgos se usaron análisis de correlación de Pearson. La identificación de TFP se realizó mediante análisis multivariado por medio de un análisis de conglomerados jerárquicos a partir de una matriz de objetos (especies) y atributos (rasgos), usando como método de encadenamiento Ward y la medida de distancia euclídea. Para observar el grado de asociación de los TFP con los rasgos se utilizó el análisis de componentes principales (ACP).

Análisis de datos

Análisis de correlación de Pearson: Se realizó un análisis de correlación de Pearson tomando el conjunto de datos de los rasgos estimados para las especies priorizadas (Díaz, et al., 2004).

Análisis de conglomerados: Se determinó cómo se agrupan las especies estudiadas según los rasgos funcionales que comparten (tipos funcionales de plantas, TFP) (Di Rienzo, et al., 2008).

Análisis de componentes principales (ACP): permite observar la interdependencia de las variables con la construcción de ejes artificiales (componentes principales) que permiten obtener una óptima gráfica para la interpretación de la variabilidad y asociación entre los datos de rasgos (Balzarini et al. 2008). Se utilizará



un diagrama de dispersión de los dos primeros ejes establecidos en el ACP, con el objeto de visualizar e identificar mejor las asociaciones entre grupos y rasgos en un mismo espacio. Para todos estos análisis se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo, et al., 2008).

Resultados y análisis de resultados

Rasgos funcionales

Los coeficientes de variación de los rasgos en la época seca van de 12 a 730 % para el CRAR y CRAH respectivamente (tabla 4). Las variables con mayor coeficiente de variación fueron: CRAH, GH, DAP, FC, HC, DC, Co_D y LT con valores superiores al 35 %. Esto principalmente por los valores máximos de rasgos dados por el grupo de palmas en los rasgos de CRAH y GH; además del valor de DAP de las especies *G. glabra* (familia Celastraceae) y *C. cateiniformis* (familia Mimosaceae) y de HC, DC y Co_D de las especies de palmas con respecto a las demás.

Tabla 4. Estadística descriptiva de los rasgos funcionales evaluados para las 10 especies frecuentes dominantes en bosque alto denso de tierra firme, departamento de Guaviare, 2015

| Variable | Media | D.E. | CV % | Mín | Máx |
|---------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| DAP (cm) | 28,32 | 25,98 | 91,72 | 10,1 | 140,0 |
| HT (m) | 18,21 | 5,45 | 29,95 | 4,0 | 32,05 |
| AF (m) | 12,04 | 3,84 | 31,88 | 3,5 | 24,3 |
| HC (m) | 6,17 | 4,42 | 71,59 | 0,5 | 22,59 |
| Co_D (m) | 8,22 | 3,98 | 48,4 | 2,13 | 21,45 |
| FC | 2 | 1,83 | 91,29 | 0,0 | 12,0 |
| DC (%) | 5,29 | 4,12 | 77,92 | 0,0 | 30,68 |
| LP (mm) | 0,36 | 0,25 | 69,71 | 0,16 | 2,29 |
| GH (mm) | 48,75 | 61,5 | 126,16 | 3,18 | 239,2 |
| CMSH (mg/g) | 506,25 | 85,05 | 16,8 | 291,07 | 759,06 |
| CRAH (%) | 2,56 | 18,69 | 730,06 | 0,19 | 193,21 |
| DM (mg mm ⁻³) | 0,54 | 0,18 | 32,9 | 0,02 | 0,95 |
| CMSR (mg/g) | 517,25 | 96,42 | 18,64 | 295,42 | 761,88 |
| CRAR (%) | 0,76 | 0,09 | 12 | 0,53 | 1,11 |

Fuente: Elaboración propia

DAP: diámetro a la altura del pecho, HT: altura total, AF: altura del fuste, HC: altura de la copa, Co_D: diámetro de la copa, FC: forma de copa, DC: diámetro de copa, LP: longitud de peciolo, GH: grosor de la hoja, CMSH: contenido de materia

seca en la hoja, CRAH: contenido relativo de agua en la hoja, DM: densidad de la madera, CMSR: contenido de materia seca en la rama, CRAR: contenido relativo de agua en la rama

A través del análisis de correlación se observaron tendencias entre pares de rasgos (tabla 5).

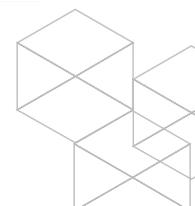


Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre rasgos funcionales. De la diagonal hacia abajo se presentan los coeficientes de correlación y de la diagonal hacia arriba la significancia ($\alpha=0,05$)

| | DAP | HT | AF | HC | Co_D | FC | CD | LP | GH | CMSH | CRAH | DM | CMSR | CRAR |
|------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------------|------------|-------------|
| DAP | 1 | 0,0 | 0,31 | 0,0 | 0,0 | 0,07 | 0,57 | 0,28 | 0,1 | 0,02 | 0,79 | 0,0 | 0,46 | 0,53 |
| HT | 0,58 | 1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,01 | 0,31 | 0,0 | 0,04 | 0,81 | 0,0 | 0,7 | 0,98 |
| AF | 0,1 | 0,6 | 1 | 0,18 | 0,22 | 0,22 | 0,12 | 0,83 | 0,07 | 0,79 | 0,99 | 0,08 | 0,33 | 0,08 |
| HC | 0,63 | 0,72 | -0,13 | 1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,24 | 0,0 | 0,02 | 0,76 | 0,0 | 0,72 | 0,12 |
| Co_D | 0,62 | 0,63 | 0,12 | 0,67 | 1 | 0,49 | 0,02 | 0,29 | 0,05 | 0,08 | 0,85 | 0,0 | 0,23 | 0,05 |
| FC | -0,18 | -0,34 | 0,12 | -0,52 | -0,07 | 1 | 0,98 | 0,96 | 0,0 | 0,63 | 0,98 | 0,0 | 0,46 | 0,13 |
| CD | -0,06 | -0,24 | -0,15 | -0,16 | -0,22 | 0 | 1 | 0,08 | 0,45 | 0,84 | 0,56 | 0,47 | 0,95 | 0,23 |
| LP | -0,13 | -0,12 | -0,03 | -0,14 | -0,13 | -0,01 | 0,21 | 1 | 0,43 | 0,15 | 0,39 | 0,01 | 0,55 | 0,59 |
| GH | -0,16 | -0,35 | -0,18 | -0,28 | -0,19 | 0,47 | -0,07 | -0,09 | 1 | 0,31 | 0,95 | 0,0 | 0,16 | 0,51 |
| CMSH | -0,22 | -0,2 | -0,03 | -0,22 | -0,17 | 0,05 | -0,02 | 0,17 | 0,1 | 1 | 0,35 | 0,17 | 0,0 | 0,0 |
| CRAH | -0,03 | -0,02 | 0 | -0,03 | 0,02 | 0 | -0,06 | -0,1 | 0,01 | 0,09 | 1 | 0,22 | 0,28 | 0,74 |
| DM | 0,31 | 0,29 | -0,17 | 0,51 | 0,28 | -0,38 | -0,07 | -0,31 | -0,36 | -0,14 | -0,12 | 1 | 0,26 | 0,23 |
| CMSR | 0,07 | 0,04 | 0,1 | -0,04 | 0,12 | 0,07 | -0,01 | 0,07 | 0,14 | 0,6 | 0,11 | -0,11 | 1 | 0,0 |
| CRAR | -0,06 | 0 | 0,17 | -0,15 | -0,19 | 0,15 | 0,12 | 0,07 | 0,06 | -0,31 | -0,03 | -0,12 | -0,38 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Valores en negrita son correlaciones significativas ($p < 0,05$)

Las variables que estuvieron correlacionadas positivamente ($p < 0,05$) fueron: DAP-HT, DAP-HC, DAP-Co_D, DAP-DM, HT-AF, HT-HC, HT-Co_D, AF-HT, HC-DAP, HC-HT, HC-DM, FC-GH, CMSH-CMSR. La HT y HC presentaron el coeficiente de correlación más alto (0,72) y están relacionados positivamente. La correlación positiva entre DM y DAP es indicativa de alta inversión de las especies en la construcción de tejidos más durables. Esto también explica la relación de CMSH con CMSR, que hace referencia a la transferencia y acumulación de tejidos entre las hojas y las ramas.

La correlación negativa de los rasgos con la CMSH y DAP se debe a que una mayor inversión en estructura del tallo que es visto con la relación negativa entre la DM y GH, LP y FC están correlacionados negativamente ya que para las plantas es costoso energéticamente producir hojas y tallo gruesos, densos y resistentes al ataque de patógenos; por lo que especies con bajo GH tienden a tener alta DM (Wright *et al.*, 2004; King *et al.*, 2005).

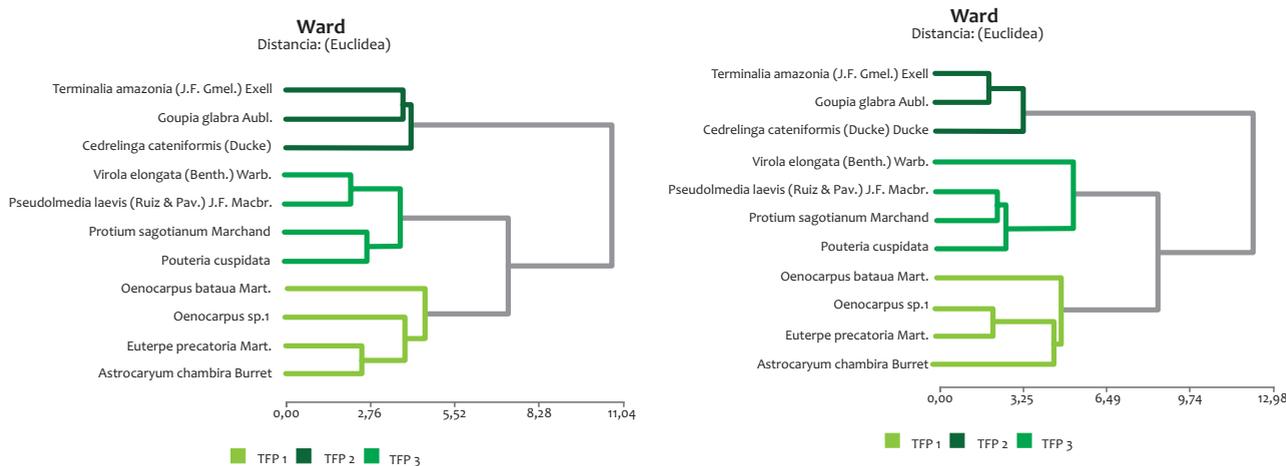
De manera general estas correlaciones infieren dos tendencias fisiológicas muy marcadas, rasgos cuyos valores altos están relacionados a rápido crecimiento (HT y HC) están inversamente correlacionados con rasgos afines con la longevidad y la conservación de nutrientes en los tejidos (DM y CMSR).

Tipos Funcionales de Plantas (TFPs)

El análisis de conglomerados con el método de agrupamiento de Ward y distancia euclídea, construido con base en los rasgos funcionales evaluados en las dos épocas climáticas (lluvia y seca) muestra la asociación de las especies en tres tipos funcionales ($p < 0,01$) claramente definidos (figura 4), en el que se destaca el conformado por las palmas. El análisis discriminante separó ampliamente a las palmas *O. bataua*, *O. Sp1*, *E. precatória* y *A. chambira*, del resto de las especies arbóreas.



Figura 4. Dendrograma de a) época de lluvia y b) época seca a partir de los rasgos, DAP, HT, AF, HC, CD, Co_D, FC, LP, GH, CMSH, CRAH, DM, CMSR y CRAR para 10 especies frecuentes y dominantes de bosque alto denso de tierra firme, departamento del Guaviare, 2015.



Fuente: Elaboración propia

El análisis de la varianza multivariado (MANOVA) y la prueba múltiple de diferencias de vectores medios entre grupos de Hotelling mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tres TFP identificados (tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio de los rasgos calculados por TFP y Análisis de la Varianza Multivariado (Prueba Hotelling). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,01$)

| TFP | DAP | HT | AF | HC | Co_D | FC | CD | GH | CMSH | CRAH | DM | CMSR | CRAR | n | p<= 0.01 |
|-----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|--------|------|----|----------|
| 3 | 20,3 | 16,11 | 10,27 | 5,85 | 6,78 | 1,3 | 5,52 | 0,34 | 514,16 | 0,72 | 0,58 | 494,25 | 0,72 | 47 | A |
| 2 | 63,69 | 25,01 | 12,71 | 12,3 | 13,9 | 1,23 | 4,31 | 0,25 | 437,61 | 0,72 | 0,69 | 511,4 | 0,77 | 22 | B |
| 1 | 17,34 | 16,88 | 14,13 | 2,75 | 6,61 | 3,46 | 5,58 | 0,48 | 539,67 | 6,31 | 0,4 | 552,29 | 0,8 | 35 | C |

Fuente: Elaboración propia

El grupo que más discrimina el MANOVA es el grupo de los maderables del TFP 2 por sus altos DAP, altura total, altura de copa, diámetro de copa, densidad de madera y bajo grosor de hoja. Por su parte, el TFP 1 se caracteriza por presentar valores altos de contenido de materia seca tanto en raquis como en hoja, contenido de agua en la hoja y su baja densidad de madera.

El análisis de componentes principales (ACP) para la época de lluvia, explicó el 66,2 % de la variabilidad en los dos primeros ejes, el eje uno (44,2 %) está siendo separado positivamente por el HT, DAP, DM, HC y Co_D asociados al TFP 2, y negativamente por GH, CMSR y CMSH asociados a los TFP 1. El eje 2 (21.6%) está siendo separado por los rasgos CMSR, AF, HT y CMSH con una relación positiva; en la parte negativa con la CRAR y DM separando el TFP 3 de los TFP 2 y 1 (figura 5, tabla 7).

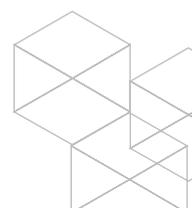
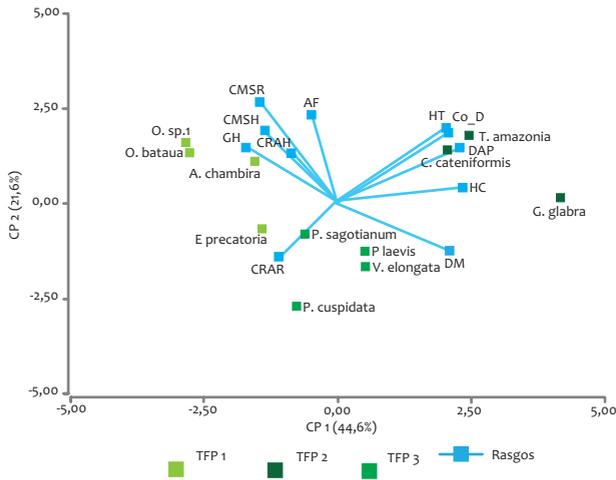


Figura 5. Biplot de las especies priorizadas y rasgos de toda la planta, foliares y de tallo en época de lluvia. Cada color representa un TFP y cada punto una especie



Fuente: Elaboración propia

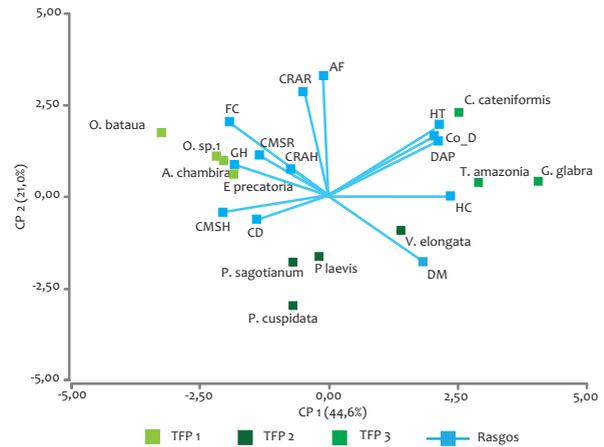
Tabla 7. Tabla de autovectores del ACP época de lluvia. La varianza explicada se encuentra entre paréntesis al lado de cada eje

| VARIABLES | Eje 1 (44,6%) | Eje 2 (21,6%) |
|-----------|---------------|---------------|
| DAP | 0,40 | 0,25 |
| HT | 0,36 | 0,35 |
| AF | -0,08 | 0,40 |
| HC | 0,41 | 0,07 |
| Co_D | 0,37 | 0,32 |
| GH | -0,29 | 0,25 |
| CMSH | -0,24 | 0,33 |
| CRAH | -0,15 | 0,23 |
| DM | 0,37 | -0,22 |
| CMSR | -0,25 | 0,46 |
| CRAR | -0,19 | -0,24 |

Fuente: Elaboración propia

Para la época seca el ACP, explicó el 65,8 % de la variabilidad en los dos primeros ejes, el eje uno (44,8 %) está siendo separado positivamente por la HC, DAP, HT y Co_D; negativamente por CMSH, FC y GH. El eje 2, se separa positivamente por AF, CRAR, FC y HT; además negativamente por DM y CD (figura 6 y tabla 8)

Figura 6. Biplot de las especies priorizadas y rasgos de toda la planta, foliares y de tallo en época seca. Cada color representa un TFP y cada punto una especie



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Tabla de autovectores del ACP época seca. La varianza explicada se encuentra entre paréntesis al lado de cada eje

| VARIABLES | Eje 1 (44,6%) | Eje 2 (21,6%) |
|-----------|---------------|---------------|
| DAP | 0,35 | 0,25 |
| HT | 0,35 | 0,31 |
| AF | -0,02 | 0,53 |
| HC | 0,38 | 0,00 |
| Co_D | 0,33 | 0,27 |
| CD | -0,23 | -0,10 |
| GH | -0,30 | 0,14 |
| CMSH | -0,33 | -0,07 |
| CRAH | -0,12 | 0,12 |
| DM | 0,30 | -0,29 |
| CMSR | -0,22 | 0,18 |
| CRAR | -0,08 | 0,46 |
| FC | -0,31 | 0,33 |

Fuente: Elaboración propia

El TFP 1 está compuesto por 4 especies correspondientes al grupo de palmas. Este grupo se asocia a valores



altos en grosor de hoja (GH), contenido relativo de agua en la hoja (CRAH) contenido de materia seca en la hoja (CMAH) y raquis (CMSR) y altura de fuste (AF). Presenta el valor de densidad de madera (DM) más bajo que los árboles ya que la estructura del leño de este grupo es irregular lo que la hace diferir altamente de la madera propiamente dicha de las especies de árboles. Las especies con baja densidad de madera presentan alta conductividad hidráulica en el xilema y por lo tanto un alto suministro hídrico a las hojas, pero con poca resistencia a la cavitación debido a que sus vasos tienden a ser de mayor diámetro y a tener paredes más delgadas, contrario a las especies con alta densidad de madera, que tienen restricciones para el transporte de agua pero una mayor seguridad hidráulica (Meinzer et al., 2008; Markesteijn et al., 2011; McCulloh et al. 2011, Mendez-Alonzo et al., 2012).

Las palmas se caracterizan por su gran abundancia y densidad en los bosques tropicales húmedos y son una de las familias de plantas con ciclos de vida de mayor duración (Scariot, 2000), son especies longevas y resistentes a ambientes de alto estrés (Aguilar & Jimenez, 2009). No presentan cambium vascular por lo que carecen de crecimiento secundario, sus hojas con alta CMSH, es decir hojas pesadas con altos contenidos de ligninas, lo que las hace más resistentes y produce una baja tasa de descomposición (Clark & Clark, 1991) y en claros pequeños las palmas dominan ya que tienen una copa pequeña.

El TFP 2 compuesto por tres especies *T. amazonia*, *C. cateniformis* y *G. glabra*; se asocia a altos valores de DAP, altura total (HT), altura de copa (HC) y densidad de la madera (DM); son rasgos que están relacionados positivamente a mayor resistencia y durabilidad del tallo (Chave et al., 2006; Wiemann & Williamson 2010); además, Klimesova y Klimes (2007) mencionan que el grosor de órganos, es un rasgo relacionado con el almacenamiento de agua y sustancias de carbono, lo cual ayuda al mantenimiento de la planta parental. Los valores altos de estos rasgos están asociados a especies conservativas de alta longevidad con baja tasa de crecimiento (Fine et al., 2006). Lo anterior obedece a la interrelación de parámetros fisiológicos y morfológicos que determinan la economía foliar, donde ninguna especie podrá ser

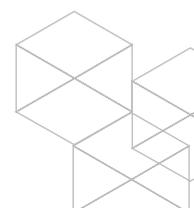
a la vez muy competitiva y muy productiva en lo que se refiere a sus hojas (Wright et al., 2004).

El TFP 3 compuesto por cuatro especies *V. elongata*, *P. laevis*, *P. sagotianum* y *P. cuspidata* se asocia a valores bajos de CRAH, CMSR, CMSH, GH, AF y HT, indicando menor limitación del crecimiento de las plantas a alturas intermedias puede mostrar la optimización del uso del recurso más escaso, la luz; dando lugar a mayor diversidad de valores de rasgos foliares por la competencia de este recurso generando una gama de estrategias en las especies (Chave et al., 2006). El rasgo de contenido relativo de agua en la rama (CRAR), en este TFP 3 muestra una variación entre las dos épocas climáticas en las que se tomaron las muestras para evaluación. En época de lluvia, este TFP se asocia positivamente con valores altos en CRAR, sin embargo, en la época seca se asocia negativamente (figura 6 y figura 7), indicando la alta dependencia del TFP 3 a la disponibilidad del recurso agua y la incorporación de sustancias hídricas en sus estructuras tras la absorción, así como la pérdida o consumo en la época seca.

Conclusiones

Los rasgos o características que poseen las especies generan agrupamientos independientemente de su taxonomía que reflejan la diversidad funcional presente en el ecosistema boscoso más predominante del departamento del Guaviare; a su vez ilustra sobre la provisión de SE que este puede ofrecer.

Las especies más frecuentes y dominantes del bosque alto denso de tierra firme del Guaviare se agrupan en tres TFPs de las cuales el grupo de palmas es claramente definido (TFP 1) con rasgos foliares muy parecidos entre estas especies. El segundo grupo (TFP 2) es representado por las especies con mayor área basal y densidad de madera, con una mayor acumulación de recursos en su tallo. Y un tercer grupo (TFP 3) conformado por especies que comparten características asociadas a contenido relativo de agua tanto foliares y de rama altos, pero bajos en materia seca de estas mismas estructuras. Además son especies intermedias entre los TFP 1 y 2 en densidad de madera.

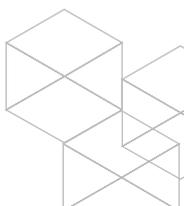


Bibliografía

- Aerts, R.** & Chapin III, F. S. (1999). *The mineral nutrition of wild plant revisited: a re-evaluation of processes and patterns*. *Advances in Ecological Research* 30: 1-67.
- Aguilar, V.** & Jiménez, F. (2009). *Diversidad y distribución de palmas (Arecaceae) en tres fragmentos de bosque muy húmedo en Costa Rica*. *Rev. Biol. Trop.* 57 (Suppl. 1): 83-92
- Altieri, M. A.** (1999). *The ecological role of biodiversity in agroecosystems*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19-31
- Bardgett, R. D.** & Wardle, D. A. (2003). *Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities*. *Ecology* 84: 2258-2268.
- BIOCARBON FUND.** (2008). *Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from Mosaic Deforestation*. RED-NM-001 / Version 01. 111 p.
- Brauman, K. A.**; Daily, G. C.; Duarte, T. K. & Mooney, H. A. (2007). *The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services*. *Annual Review of Environment and Resources* 32: 67-98.
- Conti, G.,** & S. Diaz. (2013). *Plant functional diversity and carbon storage – an empirical test in semi-arid forest ecosystems*. *Journal of Ecology* 101:18-28.
- Cornelissen, J. H. C.**; Lavorel, S.; Garnier, E.; Díaz, S.; Buchmann, N.; Gurvich, D. E.; Reich, P. B.; Ter Steege, H.; Morgan, H. D.; Heijden, M. G. A. van der; Pausas, J. G. & Poorter, H. (2003). *A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide*. *Australian Journal of Botany* 51:335-380.
- Chain, A.** (2009). *Factores que influyen en la composición y diversidad de bosques en una red de conectividad ecológica en un paisaje fragmentado mesoamericano*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 162 p.
- Chapin, F. S.** (1991). *Integrated responses of plants to stress. A centralized system of physiological responses*. *BioScience* 41:29-36
- Chapin, S.**; Randerson, J. T.; McGuire, A. D.; Foley, J. A. & Field, C. B. (2008). *Changing feedbacks in the climate-biosphere system*. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 313-320.
- Chavez, W.** (2011). *Diversidad funcional y capacidad de amortiguamiento de los bosques ribereños de la subcuenca Gil González, Departamento Rivas, Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 162 p.
- Clark, D. B.** & Clark, D. A. (1991). *The impact of physical damage on canopy tree regeneration in tropical rain forest*. *Journal of Ecology* 79: 447-457
- De Bello, F.**; Lavorel, S.; Díaz, S.; Harrington, R.; Cornelissen, J. H. C.; Bardgett, R. D.; Berg, M. P.; Cipriotti, P.; Feld, C. K.; Hering, D.; Marins da Silva, P.; Potts, S. G.; Sandin, L.; Sousa, J. P.; Storkey, J.; Wardle, D. A. & Harrison, P. A. (2010). *Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits*. *Biodiversity and Conservation* 19: 2873-2893.
- De Deyn, G. B.**; Cornelissen, J. H. C. & Bardgett, R. D. (2008). *Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes*. *Ecology Letters* 11: 516-531.
- Delgado, D.**; Finegan, B.; Zamora, N. & Meir, P. (1997). *Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica*. *Cambios en la riqueza y composición de la vegetación*. Turrialba, CR. CATIE. 55 p. (Serie Técnica, Informe Técnico No. 298).
- Díaz, S.** (1997). *Plant functional types and ecosystem function in relation to global change*. *Journal of Vegetation Science* 8(4): 463-474.
- Díaz, S.**; Cabido, M. (1997). *Plant functional types and ecosystem function in relation to global change*. *Journal of Vegetation Science* 8: 463-474.
- Díaz, S.** & Cabido, M. (2001). *Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes*. *Trends in Ecology and Evolution* 16(11):646-654
- Díaz, S.**; Noy-Meir, I. & Cabido, M. (2001). *Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits?* *Journal of Applied Ecology* 38:497-508.
- Díaz, S.**; Hodgson, J. G.; Thompson, K.; Cabido, M.; Cornelissen, J. H. C.; Jalili, A.; Montserrat-Martí, G.; Grime, J. P.; Zarrinkamar, F.; Asri, Y.; Band, S.R.; Basconcelo, S.; Castro-Díez, P.; Funes, G.; Hamzehee, B.; Khoshnevi, M.; Perez-Harguindeguy, N.; Perez-Rontome, M. C.; Shirvany, F. A.; Vendramini, F.;



- Yazdani, S.; Abbas-Azimi, R.; Bogaard, A.; Boustani, S.; Charles, M.; Dehghan, M.; de Torres-Espuny, L.; Falczuk, V.; Guerrero-Campo, J.; Hynd, A.; Jones, G.; Kowsary, E.; Kazemi-Saeed, F.; Maestro-Martinez, M.; Romo-Diez, A.; Shaw, S.; Siavash, B.; Villar-Salvador, P. & Zak, M. R. (2004). *The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents*. *Journal of Vegetation Science* 15:295-304.
- Díaz, S.**; Fargione, J.; Stuart Chapin, F. III & Tilman, D. (2006). *Biodiversity loss threatens human well-being*. *PLoS Biology* 4(8): e277. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040277.
- Díaz, S.**; Lavorel, S.; Stuart Chapin, F.; Tecco, P. A.; Gurvich, D. E. & Grigulistik, K. (2007). *Functional Diversity – at the Crossroads between Ecosystem Functioning and Environmental Filters*. In: Canadell, JG; Pataki, DE; Pitelka, LF. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag, Nueva York. P. 81-91.
- Díaz, S.**; Hector, A.; Wardle, D. A. (2009). *Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just a side benefit*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1: 55-60.
- Emmer, I.** (2007). *Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos*. Proyecto Encofor. Quito, Ecuador. 22 p.
- Fernandez, F.** (2007). *Diversidad funcional de bosques muy húmedos tropicales en el noreste de costa rica a partir de rasgos foliares y densidad de la madera*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 162 p.
- Fine, P. V. A.**; Miller, Z. J.; Mesones, I.; Irazuzta, S.; Appel, H. M.; Stevens, M. H. H.; Saaksjarvi, I.; Schultz, L. C. & Coley, P. D. (2006). *The growth defense trade off and habitat specialization by plants in Amazonian forest*. *Ecology* 87: 150-162
- Finegan, B.**; M. Pena-Claros; A. de Oliveira; N. Ascarunz; M. S. Bret-Harte; G. Carreno-Rocabado; F. Casanoves; S. Diaz; P. Eguiguren Velepucha & F. Fernandez et al. (2015). *Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypothesis*. *Journal of Ecology* 103:191-201.
- Garnier, E.**; Shipley, B.; Roumet, C. & Laurent, G. (2001). *A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content*. *Functional Ecology* 15: 688-695.
- Garnier, E.**, J. Cortez, G. Billes, M. L. Navas, C. Roumet, M. Debussche, G. Laurent, A. Blanchard, D. Aubry, A. Bellmann, et al. (2004). *Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession*. *Ecology* 85:2630-2637.
- Gitay, H.**; Noble, I. R. & Connell, J. H. (1999). *Deriving functional types for rain-forest trees*. *Journal of Vegetation Science* 10:641-650.
- Herbert, D. A.**, J. H. Fownes, & P. M. Vitousek. (1999). *Hurricane damage to a Hawaiian forest: nutrient supply rate affects resistance and resilience*. *Ecology* 80:908-920.
- Hobbie, S. E.** (1992). *Effects of plant species on nutrient cycling*. *Trends in Ecology and Evolution* 7:336-339.
- Hooper, D.U.**; Solan, M; Symstad, A; Diaz, S; Gessner, M. O.; Buchmann, N.; Degrange, V.; Grime, P.; Hulot, F.; Mermillod-Blondin F.; Roy, J.; Spehn, E. & van Peer, L. (2002). *Species diversity, functional diversity and ecosystem functioning*. En: *Biodiversity and Ecosystem functioning. Synthesis and perspectives*. Loreau M; Naeem, S. & Inchausti P. Eds. Oxford. University Press. 2002. 283 p.
- IDEAM** (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), IAVH (Instituto De Investigación De Recursos Biológicos “Alexander Von Humboldt”), Invemar, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi & IIAP(**). (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Bogotá D. C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- Instituto Amazonico de Investigaciones Científicas Sinchi**, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial & IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales) (2010). *Zonificación ambiental y ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonía, creada mediante la Ley 2ª de 1959, en el departamento de Guaviare Volumen 3 Caracterización y diagnóstico ambiental*. Bogotá D. C. 306 p.
- IPCC** (Intergubernamental Panel of Climate Change). (2002). *Climate change and biodiversity. IPCC Technical paper V*. IPCC. WMO. UNEP. 86 p.
- King, D. A.**; Davies, S. J.; Supardi, M. N. N. & Tan, S. (2005). *Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forest of Malaysia*. *Functional Ecology*, 19: 445-453.



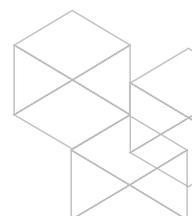
- Klimesova, J., & L. Klimes.** (2007). *Bud banks and their role in vegetative regeneration – A literature review and proposal for simple classification and assessment.* *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8:115-129.
- Lamprecht, H.** (1990). *Silvicultura en los trópicos.* Cooperación Técnica – República Federal de Alemania GTZ. Alemania. 335 p.
- Lavorel, S. & Garnier, E.** (2002). *Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail.* *Functional Ecology* 16: 545-556.
- Markesteijn, L., L. Poorter, F. Bongers, H. Paz, & L. Sack.** (2011). *Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: coordination of species' drought and shade tolerance.* *New Phytologist* 191:480-495.
- McCulloh, K. A., F. C. Meinzer, J. S. Sperry, B. Lachenbruch, S. L. Voelker, D. R. Woodruff, & J. C. Domec.** (2011). *Comparative hydraulic architecture of tropical tree species representing a range of successional stages and wood density.* *Oecologia* 167:27-37.
- Mendez-Alonso, R.; Paz, H; Cruz-Zuluaga, R.; Rosell, J. A. & Olson M. E.** (2012). *Coordinated evolution of leaf and stem economics in tropical dry forest trees.* *Ecology* 93:2397-2406.
- Pérez-Harguindeguy, N.; Díaz, S.; Garnier, E.; Lavorel, S.; Poorter, H.; Jaureguiberry, P.; Bret-Harte, M. S.; Cornwell, W. K.; Craine, J. M.; Gurvich, D. E.; Urcelay, C.; Veneklaas, E. J.; Reich, P. B.; Poorter, L.; Wright, I. J.; Ray, P.; Enrico, L.; Pausas, J. G.; de Vos, A. C.; Buchmann, N.; Funes, G.; Quétier, F.; Hodgson, C. J.; Thompson, G. K.; Morgan, H. D.; ter Steege, H.; van der Heijden, M.G. A.; Sack, L.; Blonder, B.; Poschlod, P.; Vaieretti, M. V.; Conti, G.; Staver, A. C.; Aquino, S. & Cornelissen, J. H. C.** (2013). *New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide.* CSIRO Publishing Australian Journal of Botany 61: 167–234.
- Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L. & Porro R.** (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales--1.ed.--Lima, Perú.:Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).* 79 p.
- Sala, O. E.; Chapin, F. S. III; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D. M.; Mooney, H. A.; Oesterheld, M.; Poff, N. L.; Sykes, M. T.; Walker, B. H.; Walker, M. & Wall, D. H.** (2000). *Biodiversity: Global biodiversity scenarios for the year 2100.* *Science* 287:1770-1774
- Scariot, A.** (2000). *Seedling mortality by litterfall in Amazonian forest fragments.* *Biotropica* 32: 662-669.
- Vile, D., B. Shipley, & E. Garnier.** (2006). *Ecosystem productivity can be predicted from potential relative growth rate and species abundance.* *Ecology Letters* 9:1061-1067.
- Violle, C.; Navas, M.; Vile, D.; Kazakou, E.; Fortunel, C.; Hummel, I. & Garnier, E.** (2007). *Let the concept of trait be functional.* *Oikos* 116: 882-892.
- Walker, B; Kinzig, A. & Langridge, J.** (1999). *Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species.* *Ecosystems* 2:95–113.
- Wardle, D. A.; Walker, L. R. & Bardgett, R. D.** (2004). *Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences.* *Science* 305 (5683): 509-513.
- Whitmore, T.C.** (1998). *Potential impact of climatic change on tropical rain forest seedlings and forest regeneration.* *Climatic Change* 39:429–438.
- Williamson, G. & Wiemann, M.** (2010). *Measuring wood specific gravity correctly.* *American Journal of Botany* 97: 519–524.
- Wright, I. J.; Reich, P. B; Westoby, M.; Ackerly, D. D.; Baruch, Z.; Bongers, F.; Cavender-Bares, J.; Chapin, T.; Cornelissen, J. H. C; Diemer, M.; Flexas, J.; Garnier, E.; Groom, P. K; Gulias, J.; Hikosaka, K.; Lamont, B. B.; Lee, T.; Lee, W.; Lusk, C.; Midgley, J. J.; Navas, M. L.; Niinemets, U.; Oleksyn, J.; Osada, N.; Poorter, H.; Poot, P.; Prior, L.; Pyankov, V. I.; Roumet, C.; Thomas, S. C.; Tjoelker, M. G.; Veneklaas, E. J. & Villar, R.** (2004). *The worldwide leaf economics spectrum.* *Nature* 428: 821-827



3.

Estado Actual de la Oferta, Aprovechamiento y Comercialización de Maderas Nativas en Relictos de Bosque del Departamento del Guaviare

Ángela García, Sandra Castro, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera



Resumen

Actividades ilegales como la deforestación y explotación de maderas finas, han generado que en la actualidad, la oferta de especies maderables en los bosques del área sustraída del departamento del Guaviare sea muy baja. En este estudio, se identificaron las especies maderables nativas objeto de uso en la región y se determinó la oferta natural actual en términos de volumen. También se identificaron los actores que participan en el sector forestal-madera y cada una de las actividades y procesos que se desarrollan para su aprovechamiento y comercialización, así como los puntos críticos más relevantes y se hicieron algunas recomendaciones para la acción futura. Con esta investigación, se espera aportar conocimiento sobre el estado actual de la oferta, aprovechamiento y comercialización de especies maderables provenientes de bosque natural con algún grado de intervención en el departamento del Guaviare, y que esta información contribuya a la generación de estrategias que promuevan el desarrollo forestal en la región desde el contexto del manejo sostenible del bosque y los agroecosistemas. Las especies que presentan mayor promedio de volumen aprovechable (≥ 40 cm DAP) por hectárea son *Goupia glabra* (7,40 m³), *Terminalia amazonia* (6,25 m³), *Cedrelinga cateniformis* (5,23 m³), *Dialium guianense* (3,04 m³), *Erismia uncinatum* (2,65 m³), *Aspidosperma excelsum* (2,28 m³), *Hymenaea oblongifolia* (1,86 m³), *Enterolobium schomburgkii* (1,39 m³) y *Simarouba amara* (1,18 m³).

Palabras clave: Sector forestal-madera, actores, etapas, desarrollo forestal sostenible, agroecosistemas

Introducción

En Colombia, el 66,2 % de la deforestación se concentra en la región Amazónica (IDEAM, 2017); de acuerdo con los últimos reportes, los departamentos con mayores áreas deforestadas corresponden a Caquetá, Guaviare, Meta y Putumayo (IDEAM, 2015; IDEAM, 2016; IDEAM, 2017). La siembra de pastos para ganadería, la expansión de infraestructura, el establecimiento de cultivos de uso ilícito, las actividades agropecuarias de subsistencia y la extracción comercial de madera, hidrocarburos y minería, son las actividades responsables de la deforestación en la Amazonia colombiana (Peña et al., 2016).

En Colombia, la tala ilegal de madera, se limita principalmente a los bosques naturales y la mayoría proviene de la zona del pacífico (Chocó-Darién) y la Amazonia (WWF, 2015). Un estudio realizado por el IDEAM (2009), indica que la proporción de madera que se moviliza en el país de manera ilegal está entre el 33 % y el 55 %, comparando el consumo de madera con los volúmenes autorizados por las corporaciones ambientales; sin embargo, el Fondo Mundial para la Naturaleza en Colombia (WWF por sus siglas en inglés) sugiere que esta proporción se aproxima al 75 % (Ávila, 2016). Esta ilegalidad puede atribuirse, a la demora en los trámites que se requieren para obtener la autorización de aprovechamiento y los salvoconductos de movilización, los altos costos para elaborar un plan de manejo forestal, las limitaciones en los mecanismos de control y vigilancia por parte de las autoridades ambientales y la falta de apoyo en la comercialización de los productos obtenidos legalmente; estas dificultades, inducen el uso indebido de los salvoconductos, transportando maderas de zonas diferentes a las autorizadas, y movilizándolo en mayor cantidad que la registrada (Ávila, 2016; WWF-Colombia, 2015; Fedemaderas, 2015). Los altos precios que tienen algunas maderas en Colombia, es otro aspecto que también motiva la informalidad, pues el valor comercial de un metro cúbico de madera puede ser hasta de \$ 3.037.037 (Ávila, 2016, Macía, 2014).

Actividades ilegales como la deforestación y explotación de maderas finas han generado que en la actualidad, la oferta de especies maderables en los bosques del área sustraída del departamento del Guaviare sea baja, lo que genera como resultado pequeños parches o relictos de bosque con diferentes grados de intervención. En este contexto, es prioritario realizar una adecuada planificación y gestión en el uso del suelo y del territorio, para reconvertir los procesos de intervención que han ocasionado fuertes cambios en los ecosistemas forestales. Una alternativa es implementar estrategias orientadas al manejo y aprovechamiento sostenible de las coberturas boscosas que aún se conservan, y acciones que promuevan el establecimiento de sistemas productivos sostenibles en áreas intervenidas y degradadas.

En razón a lo anterior, el Instituto SINCHI ejecuta el proyecto *Investigación en relictos de bosque como estrategia*



para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare, y uno de sus componentes es el desarrollo e innovación de modelos de producción sostenible para los relictos de bosque que promuevan cadenas de valor con productos de la biodiversidad. Este componente se apoya en las acciones de investigación que viene adelantando el Instituto SINCHI en la región desde hace más de 30 años y que han contribuido a la generación de alternativas productivas sostenibles dirigidas a la implementación de especies forestales que por sus características ecológicas favorables y potenciales de uso se convierten en opciones productivas para la generación de recursos a las comunidades; y a la vez, en un importante factor para la conservación y el mantenimiento de los servicios de los ecosistemas forestales.

Con el fin de aportar al conocimiento en temas de valoración de bienes y servicios ambientales y seguir fomentando y fortaleciendo la implementación de sistemas productivos en la región, en este documento se presentan los resultados del estado actual del aprove-

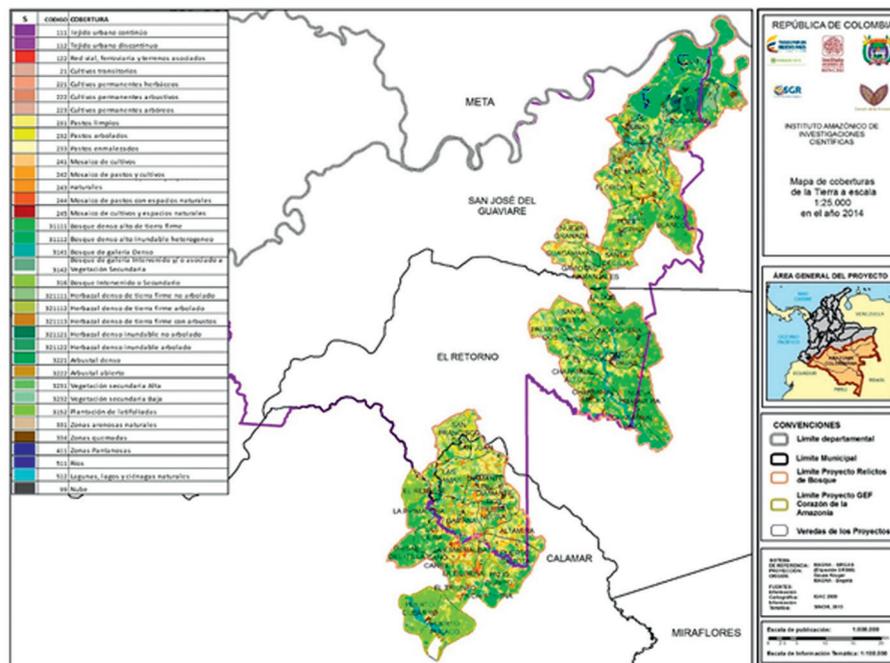
chamiento y comercialización de especies maderables provenientes de bosque natural en el departamento del Guaviare, para así analizar la dinámica actual e identificar aspectos clave que permitan generar alternativas que respalden el manejo sostenible de los bosques y los ecosistemas forestales, reconociendo el potencial económico del recurso madera a nivel local, nacional e internacional.

Metodología

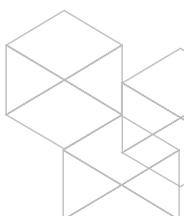
Área de estudio

La investigación se realizó dentro del área de influencia del proyecto (figura 1), correspondiente al área de sustraida de la reserva forestal en zonas de mediana y baja intervención de los municipios de Calamar, Retorno y San José del Guaviare. El reconocimiento de las especies nativas se realizó sobre la segunda cobertura más extensa en el área del proyecto que es el bosque denso alto de tierra firme (16,9 %) después de pastos limpios (22,3 %).

Figura 1. Coberturas de la tierra 1:25.000 del área de influencia del proyecto ‘elictos de bosque’



Fuente: Elaboración propia



Identificación de la oferta de especies nativas maderables

Para identificar las especies nativas maderables con reporte de uso en la región, se revisaron artículos, manuales, catálogos y fichas técnicas (López & Cárdenas, 2002; Cárdenas & Ramírez, 2004; López & Montero, 2005; Castaño, et al., 2007; Instituto SINCHI, 2013; WWF-Colombia, 2013; WWF-Colombia, 2015a; WWF-Colombia, 2015b). Mediante recorridos en campo con conocedores locales que se dedican al corte y aserrado de la madera, se identificaron las especies de uso maderable tanto para realizar obras en la finca (aprovechamiento doméstico), como para comercio, y se tomaron muestras botánicas de estas especies para su determinación taxonómica en el herbario amazónico colombiano (COAH). También se tuvo en cuenta la lista de especies que la corporación ambiental CDA autoriza para su aprovechamiento comercial bajo la figura de aprovechamiento forestal persistente (Decreto 1791 de 1996).

Con esta lista de especies y teniendo en cuenta las especies reportadas con mayor uso y comercio, se identificaron cuáles tenían registro en la base de datos de los inventarios florísticos del proyecto, para determinar la oferta actual en términos de volumen comercial en pie por hectárea, empleando la fórmula establecida en la resolución 0727 de 2010 de Corpoamazonia.

Con la información de los inventarios, también se determinó el promedio de volumen comercial de árboles en pie ≥ 40 cm DAP, de las especies maderables con mayor uso en la región, y el promedio de árboles (≥ 10 cm DAP y 40 cm DAP) de especies comerciales que se registran.

Volúmenes de madera que se autorizan para aprovechamiento

De acuerdo con la información suministrada por la corporación ambiental CDA se relacionan los volúmenes de madera autorizados bajo la figura de aprovechamientos persistentes entre los años 2008 y 2013. Estos volúmenes autorizados incluyen el descuento en porcentaje que la Corporación aplica por la pérdida de madera que se genera durante el aprovechamiento del árbol (40 %).

Identificación de actores y etapas del aprovechamiento y comercialización de madera proveniente de bosque natural

Para la caracterización de los actores y las etapas, se revisa información secundaria (Deispaz, 2014; Bracho & Mendoza, 2009) y se realizan entrevistas semiestructuradas a un grupo de actores clave previamente definido (tabla 1).

Tabla 1. Entrevistas realizadas por grupo de actores

| Grupo de actores | Actores | N° de entrevistas realizadas |
|---|---|------------------------------|
| Extractores de la madera | Reconocedores y aserradores | 4 |
| | Propietarios de bosque y usuarios de PMF | 2 |
| | Depósitos y aserríos de maderas | 3 |
| Transformadores de la madera (1ª y 2ª transformación) | Carpinterías y ebanisterías (Calamar) | 4 |
| | Carpinterías y ebanisterías (El Retorno) | 4 |
| | Carpinterías y ebanisterías (San José del Guaviare) | 6 |
| Instituciones que vigilan y regulan el sector | Corporación ambiental CDA y fuerzas militares | 3 |
| Total entrevistas | | 26 |

Fuente: Elaboración propia

Para la clasificación de los actores, se parte de lo propuesto por CICDA (2014), en donde se definen dos tipos de actores: los actores directos e indirectos. Los actores directos son aquellos que están involucrados directamente en las etapas de la cadena y que actúan y se relacionan entre sí y los indirectos son los que realizan ciertas funciones que permiten que los actores directos desarrollen sus actividades en los diferentes eslabones.

Descripción de las especies con mayor comercio en la región

De las especies identificadas, se evaluó con los diferentes actores del sector aspectos como: percepción de abundancia en el bosque, características principales con las que se reconoce la especie, productos de la madera aserrada que más se usan o se comercializan, usos principales, características y calidad de la madera, manejo durante los procesos de aserrado y transformación secundaria.



Categorías de uso de la madera

De acuerdo con los usos reportados por los actores entrevistados, las especies se agrupan dentro de unas categorías de uso: construcción de viviendas, postes y varetas de corral, construcciones pesadas, carpintería de obra y muebles y carrocerías de camiones.

Para definir el potencial de uso de la madera en la construcción, las especies se clasifican de acuerdo a su densidad básica, según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, título G-Edificaciones de Madera en tres grupos estructurales: Grupo A, cuando la densidad básica es igual o mayor a $0,71 \text{ gr/cm}^3$; Grupo B, cuando la densidad está entre $0,56$ a $0,70 \text{ gr/cm}^3$; Grupo C, cuando la densidad está entre $0,40$ a $0,55 \text{ gr/cm}^3$. Esta variable es importante, ya que es un criterio con el que se puede determinar el potencial de uso de la madera.

Las maderas con densidades mayores a $0,70 \text{ gr/cm}^3$, son las de mayor resistencia; por su alta densidad, requieren condiciones especiales de aserrado, trabajabilidad, preservación y secado. Se usan en construcciones pesadas como traviesas de ferrocarril, pisos, escaleras, puentes, tarimas, vigas, techos etc., también presentan una alta durabilidad y resistencia al estar en contacto permanente con el suelo o con el agua (corrales, cercas, construcciones exteriores).

Las maderas con densidades entre $0,40$ y $0,70 \text{ gr/cm}^3$ son las de mayor comercialización, sirven para construcciones livianas y pesadas, también para la fabricación de muebles y productos de carpintería, y corresponden a maderas que en general no presentan problemas especiales de aserrado, secado, preservación, clavado y trabajabilidad.

Las maderas que presentan densidades menores a $0,40 \text{ gr/cm}^3$, son por lo general maderas blandas, y se utilizan para la fabricación de papel, enchapes, etc. Sin embargo,

algunas de estas especies ofrecen resistencias semejantes a las del grupo estructural C.

La corporación ambiental CDA, mediante la resolución 347 del 2014, define tres tipos de madera aprovechable para aplicar las tasas de aprovechamiento a los beneficiarios de autorizaciones y permisos de aprovechamientos forestales persistentes de bosques naturales: 1- Maderas ‘muy especiales’ que hacen referencia a las especies maderables que por sus características tecnológicas de calidad, color, lustre, veteado y demanda en los mercados y uso, constituyen especies de muy alto valor comercial. 2- Maderas ‘especiales’, que son especies con calidades físico-mecánicas aptas para aserrío, con alto valor comercial, destinadas a la ebanistería, chapas, interiores, decoraciones, construcciones, etc. 3- Maderas ‘ordinarias’, que son las especies que no se encuentran incluidas en las dos categorías anteriores.

Resultados y discusión

Oferta de especies maderables nativas que se utilizan en la región

En total se identificaron 70 especies que tienen reporte de uso maderable en la Amazonia colombiana y que se encuentran en los relictos de bosque del área sustraída del departamento del Guaviare (anexo 1). La oferta actual de volumen comercial de árboles en pie $\geq 40 \text{ cm DAP}$, de las especies maderables con mayor uso en la región, es en promedio de $34,47 \text{ m}^3$ por hectárea ($SD \pm 29,61$; CV del $85,90 \%$), en la cobertura bosque denso alto de tierra firme del área sustraída del departamento del Guaviare. La alta variabilidad en el promedio de volumen está asociada a la baja densidad de árboles aprovechables que hay en estos bosques. De acuerdo con el promedio de árboles $\geq 10 \text{ cm DAP}$, de especies comerciales que se registran en una hectárea de bosque (52 ± 19), la probabilidad de encontrar árboles $\geq 40 \text{ cm DAP}$ es del $18,47 \%$ (10 ± 6).

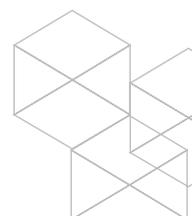


Tabla 2. Promedio de volumen comercial por hectárea (con desviación estándar SD) en los relictos de bosque del área sustraída del departamento del Guaviare, de las especies con mayor comercio en la región

| Especie | Nombre común | Volumen (m ³) ≥ 40 cm DAP |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <i>Goupia glabra</i> | Parature | 7,40 (± 15,44) |
| <i>Terminalia amazonia</i> | Macano | 6,25 (± 9,30) |
| <i>Cedrelinga cateniformis</i> | Achapo | 5,23 (± 16,45) |
| <i>Dialium guianense</i> | Tres tablas | 3,04 (± 7,35) |
| <i>Erisma uncinatum</i> | Milpo | 2,65 (± 9,11) |
| <i>Aspidosperma excelsum</i> | Cabo de hacha | 2,28 (± 5,16) |
| <i>Hymenaea oblongifolia</i> | Algarrobo | 1,86 (± 4,91) |
| <i>Enterolobium schomburgkii</i> | Dormidero rayito | 1,40 (± 4,29) |
| <i>Simarouba amara</i> | Machaco | 1,18 (± 2,71) |
| <i>Parkia discolor</i> | Dormidero | 0,65 (± 3,25) |
| <i>Chrysophyllum cf. amazonicum</i> | Caimo | 0,51 (± 3,08) |
| <i>Parkia panurensis</i> | Dormidero negro | 0,45 (± 2,71) |
| <i>Trattinnickia boliviana</i> | Cariaño | 0,36 (± 1,87) |
| <i>Jacaranda copaia</i> | Pavito | 0,36 (± 1,48) |
| <i>Apuleia leiocarpa</i> | Guacamayo | 0,31 (± 1,30) |
| <i>Vataireopsis iglesiasii</i> | Arenillo macho, amargoso | 0,26 (± 1,53) |
| <i>Pouteria cuspidata</i> | Caimo | 0,17 (± 1,02) |
| <i>Hymenolobium cf. heterocarpum</i> | Arenilla hembra | 0,12 (± 0,71) |
| <i>Brosimum utile</i> | Árbol vaca | 0,00 |
| <i>Calophyllum brasiliense</i> | Cachicamo | 0,00 |
| <i>Clarisia racemosa</i> | Arracacho | 0,00 |
| <i>Micropholis guyanensis</i> | Caimo | 0,00 |
| <i>Micropholis venulosa</i> | Caimo | 0,00 |
| <i>Minuartia guianensis</i> | Cuyubí | 0,00 |
| <i>Ocotea cf. aciphylla</i> | Laurel | 0,00 |
| <i>Ocotea longifolia</i> | Laurel | 0,00 |
| <i>Pouteria cladantha</i> | Caimo | 0,00 |
| <i>Pouteria glauca</i> | Caimo | 0,00 |
| <i>Protium amazonicum</i> | Anime | 0,00 |
| <i>Protium grandifolium</i> | Anime | 0,00 |
| <i>Vochysia ferruginea</i> | Botagajo, Sorogá | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2, las especies que presentan mayor promedio de volumen aprovechable (≥ 40 cm DAP) por hectárea son *Goupia glabra* (7,40 m³), *Terminalia amazonia* (6,25 m³), *Cedrelinga cateniformis* (5,23 m³), *Dialium guianense* (3,04 m³), *Erisma uncinatum* (2,65 m³), *Aspidosperma excelsum* (2,28 m³), *Hymenaea oblongifolia* (1,86 m³), *Enterolobium schomburgkii* (1,39 m³) y *Simarouba amara* (1,18 m³). 9 especies presentan volúmenes por debajo de este rango (*Parkia discolor*, *Chrysophyllum cf. Amazonicum*, *Parkia panurensis*, *Trattinnickia boliviana*, *Jacaranda copaia*, *Apuleia leiocarpa*, *Vataireopsis iglesiasii*, *Pouteria cuspidata*, *Hymenolobium cf. Heterocarpum*) y 13 no registraron diámetros mayores a 40 cm de DAP que es la unidad mínima de corta establecida por la CDA.

De la lista de especies colectadas durante el reconocimiento en campo, seis especies no se registraron en la base de datos de los inventarios florísticos del proyecto (*Albizia pedicellaris*, *Anadenanthera peregrina*, *Cedrela odorata*, *Hymenaea*



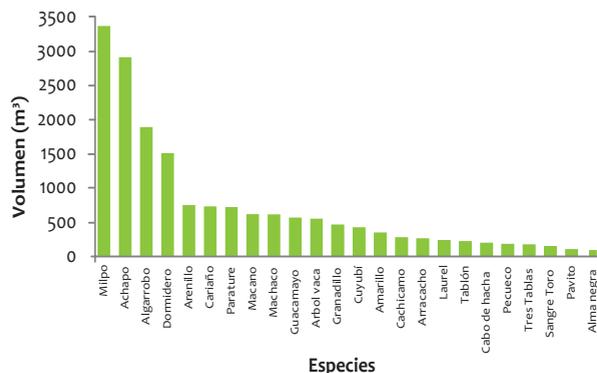
courbaril, *Hymenolobium excelsum*, *Platymiscium pinna-*
tum); y según el Libro rojo de especies maderables de
Colombia (Cárdenas & Salinas, 2007), tres se encuentran
dentro de una categoría de amenaza (*Cedrela odorata* L.
(En peligro, EN), *Hymenaea courbaril* L. (Casi amenazada,
NT), *Hymenaea oblongifolia* Huber (Casi amenazada, NT)).

Volúmenes de madera que se autorizan para aprovechamiento

Los mayores volúmenes que se han autorizado en los planes de manejo aprobados entre los años 2008 y 2013, corresponden a las especies *Milpo* (*Erisma uncinatum*), *Achapo* (*Cedrelinga cateniformis*), *Algarrobo* (*Hymenaea oblongifolia*) y *Dormidero* (*Parkia panurensis*) (figura 3). El mayor número de planes de manejo se han otorgado en áreas boscosas del municipio de El Retorno, con volúmenes hasta de 3000 m³ de madera (figura 4). De acuerdo con los planes de manejo autorizados entre el 2008 y el 2013, el volumen promedio por hectárea autorizado para movilización es de 29,39 m³ (\pm 21,08), considerando el descuento que se hace de las pérdidas de madera durante el aserrado (40 %).

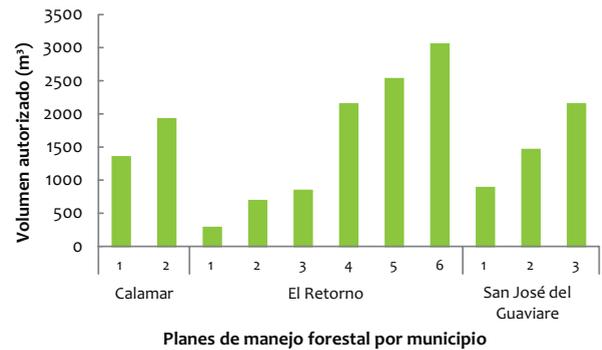
Entre el 2014 y el 2016 no estaban activos los permisos de aprovechamiento forestal persistente, por lo tanto no se podían extraer y comercializar productos forestales de los bosques del departamento del Guaviare. En el año 2017 se autorizan 2 solicitudes de aprovechamiento en la vereda La Morichera (El Retorno) de 3719,599 m³ y 3003,271,47 m³ de madera.

Figura 3. Volumen total de madera autorizado por especie entre los años 2008 y 2013 en el departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Volumen total de madera autorizado por planes de manejo forestal entre los años 2008 y 2013 en el departamento del Guaviare

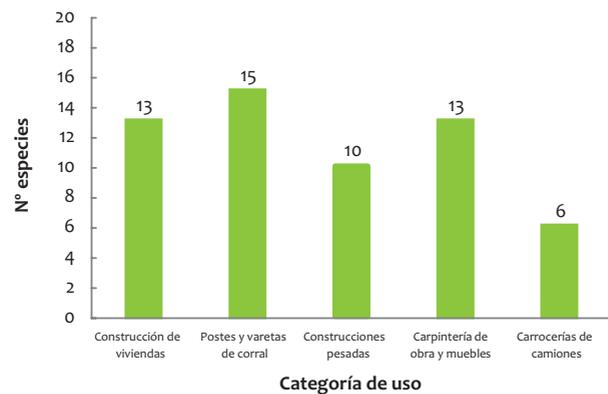


Fuente: Elaboración propia

Categorías de uso de la madera

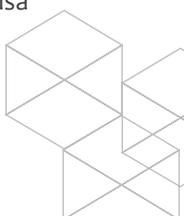
La mayoría de las especies que se aprovechan en la región, se utilizan en la realización de obras en las fincas (corrales, cercas, viviendas, puentes), construcción de viviendas y en la elaboración de muebles y productos de carpintería (figura 5).

Figura 5. Agrupación de las especies maderables de acuerdo a la categoría de uso identificada



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3, las especies del grupo A, son las de mayor resistencia y se usan en construcciones pesadas. La madera de *Terminalia amazonia* y *Minqartia guianensis*, por su alta durabilidad, tiene un uso especial en la región como postes para cerca y columnas para corral. *Hymenaea oblongifolia*, por su resistencia y lustre se usa mucho en la elaboración de pisos y se comercializa muy bien en el mercado nacional, en la región se usa



principalmente en la fabricación de carrocería de camiones. Las especies que se encuentran dentro del grupo B, se usan sobre todo en la construcción de viviendas y elaboración de obras en las fincas, aunque *Goupia glabra*, es una de las especies que más se está comercializando en el mercado local. Las especies con reporte de uso en la región y que presentan densidades menores a $0,55 \text{ gr} \times \text{cm}^{-3}$, tienen un uso especial en la fabricación de muebles y productos de carpintería, y son las especies que más se autorizan para su aprovechamiento comercial, según reporte de la CDA.

Tabla 3. Clasificación de las maderas de acuerdo a su densidad básica

| Grupo estructural | Densidad básica | Especies |
|-------------------|--|---|
| A | Igual o mayor a $0,71 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ | <i>Terminalia amazonia</i> (0,73). <i>Chrysophyllum amazonicum</i> (0,74). <i>Minquartia guianensis</i> (0,76). <i>Aspidosperma excelsum</i> (0,77). <i>Hymenaea oblongifolia</i> (0,78). <i>Platymiscium pinnatum</i> (0,78). |
| B | De $0,56$ a $0,70 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ | <i>Clarisia racemosa</i> (0,56). <i>Vataireopsis iglesiasii</i> (0,64). <i>Goupia glabra</i> (0,69). <i>Apuleia leiocarpa</i> (0,70). |
| C | De $0,40$ a $0,55 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ | <i>Brosimum utile</i> (0,42). <i>Cedrelinga cateniformis</i> (0,42). <i>Erismia uncinatum</i> (0,47). <i>Ocotea spp.</i> (0,53). <i>Trattinnickia boliviana</i> (0,54). <i>Calophyllum brasiliense</i> (0,55). |
| | Menor a $0,40 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ | <i>Jacaranda copaia</i> (0,35). <i>Simarouba amara</i> (0,36). <i>Vochysia ferruginea</i> (0,37). <i>Cedrela odorata</i> (0,38). |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la resolución 347 del 2014, establecida por la corporación ambiental CDA, las especies *Dialium guianense*, *Goupia glabra*, *Calophyllum brasiliense*, *Ter-*

minalia amazonia, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga cateniformis*, *Brosimum utile*, *Minquartia guianensis* y *Simarouba amara*, se encuentran dentro del grupo de maderas ‘muy especiales’; y las especies *Aspidosperma excelsum*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea oblongifolia* y *Ocotea spp.*, dentro del grupo de maderas ‘especiales’.

Actores que participan en el aprovechamiento y comercialización de la madera

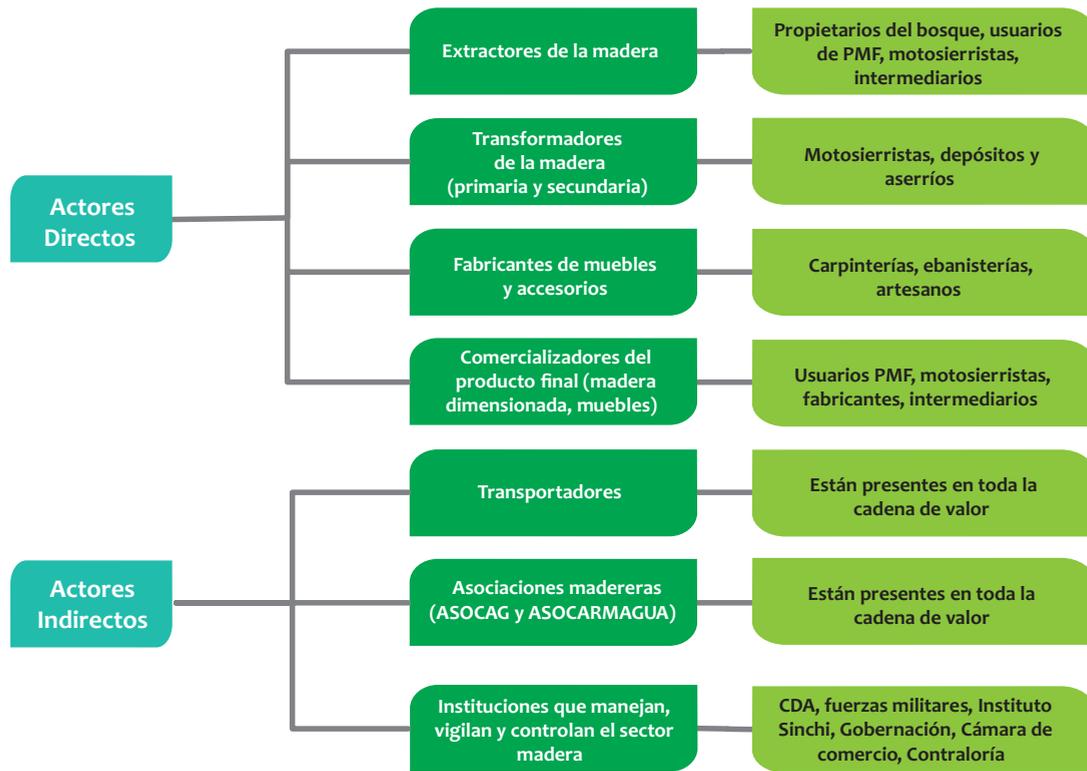
Dentro de este sector se identifican las etapas de aprovechamiento o extracción, transformación primaria y secundaria, fabricación de productos de carpintería y muebles y comercialización; en la cual participan actores directos e indirectos (figura 6).

Los extractores son el grupo que se dedica a la corta o extracción de madera como actividad principal, aunque también pueden comprar y vender madera (intermediarios). En la región, los tipos de actores que participan en esta etapa de la cadena son:

1. Propietarios de fincas que aprovechan y comercializan la madera de sus bosques bajo la figura de aprovechamientos persistentes (planes de manejo forestal).
2. Aserradores que de manera informal (sin permiso de aprovechamiento) compran y extraen madera del bosque y la venden en depósitos, carpinterías y ebannerías.
3. Aserradores que son contratados para aprovechar la madera y realizar obras en las fincas (corrales, cercas, puentes, viviendas) o para extraer la madera que se comercializa de manera formal e informal.
4. Intermediarios que compran y venden madera de manera formal e informal, son los distribuidores de la materia prima.
5. Existen empresas transformadoras y fabricantes que se ahorran intermediarios y realizan ellos mismos este proceso.



Figura 6. Actores involucrados en el aprovechamiento y comercialización de la madera de especies provenientes de bosques naturales en el departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

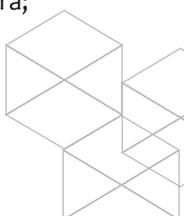
En el grupo de los **transformadores** de la madera (primaria y secundaria) participan empresas como depósitos y aserríos, los cuales se encargan de preparar y clasificar la madera para los diferentes usos que tendrá. También participan los motosierristas que directamente en el bosque dimensionan la madera de acuerdo con los requerimientos del mercado (columnas, postes, piezas, tablas, vigas, listones, etc.).

En el grupo de los **fabricantes**, se encuentran las carpinterías, ebanisterías, y tiendas o grupos de artesanos que elaboran diversos productos como artículos para construcción, carrocerías, muebles, accesorios para el hogar, oficinas.

En la etapa de **comercialización** del producto final, se identifican las actividades relacionadas con el comercio directo al cliente y con la distribución al por mayor y al detal. En este eslabón están indirectamente relacionados los actores dedicados al transporte de

la madera aserrada desde el punto de acopio cerca al bosque hacia el destino final ya sea a los depósitos y aserríos, carpinterías, ebanisterías a nivel local o directamente a mercados nacionales de segunda transformación y construcción, ebanisterías en ciudades como Villavicencio, Bogotá y municipios en ruta. En el caso de los muebles, la comercialización se realiza principalmente a nivel local y ocasionalmente a nivel nacional (Villavicencio y Bogotá), mediante contratos con consumidores finales que mandan a fabricar sus muebles e incluyen la instalación de la obra en el lugar de destino.

De acuerdo con información suministrada por la CDA, (2017) en total hay 22 empresas legalmente constituidas, que extraen, compran, venden o transforman madera proveniente de bosques naturales en el departamento del Guaviare. Cinco establecimientos corresponden a depósitos de madera, en donde proveen servicios como el aserrado, cepillado e impregnación de la madera;



también algunos, fabrican y comercializan muebles, y se localizan en San José del Guaviare (3), El Retorno (1) y Calamar (1). La mayoría de los establecimientos se dedican a la fabricación y comercialización de muebles (17), de los cuales diez se encuentran en San José del Guaviare, cuatro en el Retorno y tres en Calamar.

Dentro de los actores indirectos, que son los intermediarios que se encuentran entre un eslabón y otro de la cadena se encuentran: los transportadores, las entidades regionales que manejan, vigilan y controlan el sector madera (CDA, Policía Ambiental, Ejército Nacional, Contraloría, Cámara de Comercio, Instituto SINCHI, Gobernación), y las asociaciones de madereros (ASOCAG y ASOCARMAGUA) que recientemente se están conformando con la finalidad de organizarse mejor dentro del sector y obtener beneficios.

Descripción de las etapas de aprovechamiento y comercialización de la madera

Aprovechamiento o Extracción

Esta etapa contempla las siguientes actividades:

- **Corta o apeo del árbol:** De acuerdo con lo contemplado en el plan de manejo forestal, se han seleccionado previamente los árboles a aprovechar dentro de la Unidad de Corta Anual (UCA).
- **Aserrado:** Luego de tumbar el árbol se realizan las operaciones de descortezado, y se mide la longitud de la troza (hilar) para dimensionar la madera de acuerdo con los requerimientos del mercado o la persona que los contrata (bloque, columna, postes, pieza, varetas, tablas, vigas, listones). En la región por lo general, en el bosque también se realizan las operaciones de transformación primaria de la madera (dimensionado).
- **Cargue y arrastre:** Esta actividad se realiza en tractor o con la ayuda de arrieros que son los que se encargan de llevar la madera hasta el punto de acopio o la carretera, para luego cargarla al camión que la transportará a los depósitos, aserríos o fábricas de la región o directamente a los mercados nacionales (depósitos, aserríos, carpinterías, ebanisterías, intermediarios de las ciudades de Villavicencio y Bogotá principalmente y los municipios en ruta).

Teniendo en cuenta la tecnología que se usa en el aserrado del árbol, se estima una pérdida del 40 % de la madera (residuos) que comprenden la corteza, el aserrín y los recortes de madera que no cumplen con todos los estándares de calidad en cuanto a su dimensión. Estos recortes se desechan, se regalan o se venden a un muy bajo costo en las carpinterías y ebanisterías.

En esta operación generalmente participan 1 o 2 aserradores y un ayudante que es el que se encarga de hilar, arrumar las piezas o productos de madera y cargar la motosierra con combustible. Cuando se realizan los aprovechamientos forestales persistentes en las unidades de corta anual (UCA), llegan a participar hasta 6 motosierristas. De acuerdo con los reportes de los aserradores, un aserrador o motosierrista, puede aprovechar en un día 50 piezas de madera que equivale a 1,5 m³ de madera, 300 piezas en una semana (9 m³), 100 postes cuadrados punteados para cerca (2,2 m³), 120 postes cuadrados sin puntear para corral (3,36 m³), 100 varetas para corral (1,5 m³).

Transformación primaria y secundaria

Este proceso se realiza en los depósitos y aserríos de madera, aunque también es frecuente que los motosierristas hagan parte de este proceso en el bosque (transformación primaria). En la región actualmente están funcionando cinco depósitos de madera, uno en el área urbana del municipio de Calamar, 1 en el área urbana del municipio de El Retorno, 2 en el área urbana de San José del Guaviare y 1 en el área rural. Generalmente los propietarios de estos depósitos tramitan su licencia de aprovechamiento para adquirir la madera, aunque también la compran de manera informal a pequeños extractores.

En estos depósitos los únicos procesos de transformación que se realizan luego de recepcionar la madera es dimensionar y cepillar los productos de acuerdo a los requerimientos del mercado, no se realizan procesos de secado, algunas veces se inmuniza la madera. Actualmente los depósitos comercializan la madera principalmente en el mercado local para construcciones generales y ebanistería, y muy poco es lo que se exporta por las dificultades que se han presentado en los trámites de legalización para su movilización (costos elevados y controles por tráfico ilegal de la madera).



Secado y almacenamiento de la madera aserrada

En el momento del aprovechamiento, los aserradores tienen como norma, cortar o talar los árboles en luna menguante, ya que el frío y la poca luz de la noche, contraen la savia del árbol. Así, el secado será mucho más rápido, más uniforme y con menor probabilidad de que se doble o arquee al secarse.

En la región, la forma que se utiliza para secar la madera aserrada es el secado natural o al aire libre, ya que ninguno de los depósitos o ebanisterías cuentan con hornos de secado y no hay una empresa que preste este servicio.

El método de secado natural, es la forma más económica y fácil de implementar, si se realiza de manera correcta, permite una mejor circulación del aire, aunque requiere más tiempo para el secado y está sujeto a los cambios climáticos (vientos extremos, asoleamiento y humedad relativa), además la humedad final de la madera no es menor al 13 %.

En las empresas forestales que se visitaron, la técnica que utilizan para secar la madera no es la más correcta. En los depósitos, los bloques de madera llegan generalmente sin ningún proceso de secado. Cuando se reciben, esta madera se apila sin listón separador, lo que genera poca ventilación y el riesgo de sufrir desviaciones, hendiduras, manchas y corrosión (figura 7).

Figura 7. Forma en que generalmente se apila y se almacena la madera en los depósitos y aserríos de la región



Fuente: Elaboración propia

Luego de dimensionar la madera de acuerdo a los requerimientos del mercado y hasta el momento de su comercialización, estos productos se disponen en forma

vertical, inclinándolos hacia la pared o hacia alguna estructura que permita sostenerlos (figura 8).

Figura 8. Técnica de secado natural de los productos de la madera aserrada que se utiliza en los depósitos y aserríos de la región



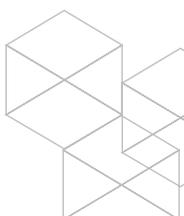
Fuente: Elaboración propia

El tiempo de secado de la madera aserrada que utilizan las empresas forestales en la región, oscila entre 1 a 5 meses, dependiendo de la especie y el producto. En las ebanisterías, desde que se adquiere la madera directamente con el depósito o aserrador y dependiendo de la especie, se deja secar al aire libre entre 2 a 3 meses, antes de empezarla a trabajar en el taller (figura 9).

Figura 9. Forma en la que se disponen las piezas de madera en las ebanisterías para su proceso de secado hasta el momento de ser utilizadas



Fuente: Elaboración propia



Con base en lo reportado, la madera se inmuniza cuando se termina la obra. Se inmuniza con un inmunizante insecticida y fungicida para la preservación de la madera, con base en solventes. Otra forma de inmunizar las obras, es aplicar tintillas con gasolina, que conservan el color de la madera y garantiza su durabilidad.

Fabricación de productos de carpintería y muebles

La mayoría de las carpinterías y ebanisterías que se visitaron, son empresas medianas y pequeñas, en donde el consumo de madera oscila entre 300 (9 m³) y 800 piezas (24 m³) en el año, dependiendo de la disponibilidad de operarios y la demanda de trabajo. La mayoría funcionan con uno o dos ayudantes y dependiendo de la temporada se pueden llegar a tener hasta 6 trabajadores. La forma de pago por el trabajo de los operarios es un porcentaje de las obras que se realicen (25 %) o un pago diario promedio de \$ 25.000.

Las formas en que adquieren la madera para su trabajo es comprándola directamente en los depósitos o aserríos, o de manera informal a través de la compra a pequeños extractores-aserradores a un precio más bajo (aproximadamente 50 % más barata).

En la actualidad las especies que más se utilizan para la fabricación de muebles son el Achapo y el Machaco. Las presentaciones en que se compra la madera aserrada para la elaboración de muebles son en planchón (5 cm de espesor, 20 a 30 cm de ancho y 3 metros de longitud), chapa (2 cm x 15-20-35 cm x 3m) y tabla burra (3 cm x 30 cm x 3m). Generalmente lo ideal para el ebanista es acumular cierto número de piezas o productos de madera para que tengan un mayor tiempo de secado natural (1 año aproximadamente) y así no se generen defectos a la hora de trabajar la madera y garantizar la calidad de las obras, aunque esto depende de la disponibilidad de capital que tenga el ebanista para adquirir el número de piezas necesarias y así tener suficiente materia prima para atender los pedidos.

Para la elaboración de muebles y obras de carpintería, se utilizan marcos de madera, y diferentes productos para entamborados que no se fabrican en la región, y que se deben comprar directamente en Bogotá: láminas de madera contrachapas (Triplex), tableros aglomerados de

partículas o astillas de madera cruda (Tablex), tableros de MDF laminados, laminados decorativos melamínicos (Madecor).

En los municipios del Retorno y Calamar, y zonas rurales, una forma de trabajo es que el cliente lleva su madera para que le realicen su obra, el ebanista estima el precio de la madera por pieza y de acuerdo al costo de mano de obra, así mismo cobra el valor del mueble.

Transporte

Esta etapa comprende el transporte terrestre de la madera aserrada desde el punto de acopio cerca al bosque hacia el destino final ya sea a los depósitos y aserríos, carpinterías, ebanisterías a nivel local o directamente a mercados nacionales de segunda transformación y construcción como Villavicencio, Bogotá y municipios en ruta. Esta actividad se realiza con el apoyo de los arrieros que son los que llevan la madera desde el bosque al sitio de cargue y los coteros que son los que cargan y descargan la madera.

El volumen de madera que se transporta en un vehículo se determina de acuerdo a la capacidad de la carrocería (ancho x alto x largo) y al producto que se está transportando (bloque, vigas, etc.). Los tipos de vehículos que se utilizan para el transporte terrestre de la madera, son los tractores medianos de 100 a 190 hp, la tractomula con una capacidad promedio de carga de madera de 30 m³ (Gutierrez *et al.*, 2013), el doble troque (19 m³), camión de 900 hp (17 m³), camión de 600 hp (15 m³) y la turbo (10 m³). Su uso depende del volumen de madera a movilizar y el estado de las vías.

El transporte terrestre de la madera es el eslabón que articula el aprovechamiento forestal con la fábrica. Es una operación de gran importancia económica, y representa entre el 50 al 70 % del incremento del valor total de la madera en la fábrica (Gutierrez *et al.*, 2013). Para el transporte de madera aserrada (dimensionada) se debe presentar el salvoconducto de movilización en los diferentes puntos de control. Para el transporte de muebles o madera con algún proceso de transformación se requiere que la empresa esté legalmente constituida y según el caso, se exige una factura de compra para su legalización.



Comercialización

De acuerdo con la revisión de información bibliográfica y de acuerdo con la revisión de información bibliográfica y entrevistas con instituciones y actores involucrados en el sector forestal en el departamento del Guaviare, la madera que se aprovecha en los bosques naturales (bajo figuras legales e ilegales) se destina a la realización de obras en la finca (corrales, postes, viviendas, puentes, etc.), a la venta de madera aserrada para uso estructural (mercado local y nacional) y elaboración de muebles y productos de carpintería (principalmente mercado local) (figura 10).

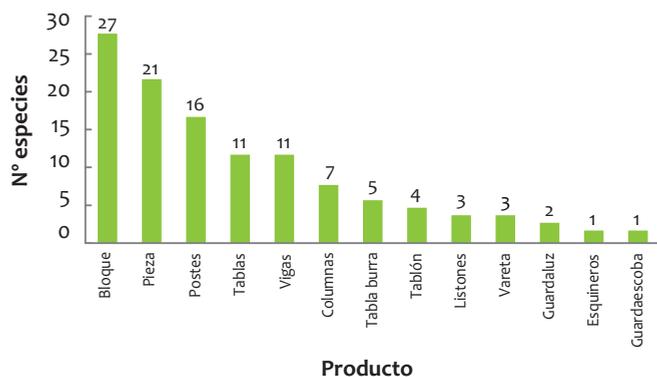
Figura 10. Productos y mercado de las maderas provenientes de bosques naturales en el departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

Los productos de la madera aserrada que más se usan y se comercializan de las especies que más se aprovechan en la región, son el bloque, la pieza y los postes (figura 11). Las dimensiones de los productos en términos de su espesor, ancho y longitud, y el precio promedio de venta en los principales puntos de comercialización de la región, se pueden observar en la tabla 4.

Figura 11. Productos de la madera aserrada que más se comercializan en la región



Fuente: Elaboración propia

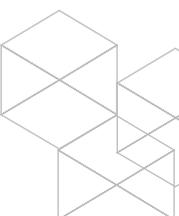


Tabla 4. Dimensiones y precio promedio de los productos de la madera aserrada que más se comercializan en la región

| Producto | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Longitud (m) | Precio promedio (maderas especiales) | Precio promedio (maderas ordinarias) |
|---------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bloque | 10 | 30 | 3 | \$ 50.000,00 | \$ 30.000,00 |
| Pieza | 10 | 10 | 3 | \$ 20.000,00 | \$ 15.000,00 |
| Tabla (chapa) | 25 | 2 | 3 | \$ 12.000,00 | - |
| Tabla (chapa) | 30 | 2 | 3 | \$ 18.000,00 | - |
| Tabla burra | 30 | 3 | 3 | \$ 20.000,00 | - |
| Tablón (planchón) | 30 | 5 | 3 | \$ 36.000,00 | - |
| Vigas | 20 | 10 | 4-8 | \$ 85.000,00 | - |
| Columnas | 12 | 12 | 3 | \$ 80.000,00 | \$ 40.000,00 |
| Postes | 10 | 10 | 2-3 | \$ 15.000,00 | \$ 15.000,00 |
| Listones | 5 | 5-10 | 3 | \$ 8.500,00 | - |
| Vareta | 10 | 5 | 3 | - | \$ 12.000,00 |
| Guardaluz (Enchape para puerta) | 4 | 0,7 | 3 | - | \$ 2.000,00 |
| Esquineros | 3 | 3 | 3 | - | \$ 2.000,00 |
| Guardaescoba | 7 | 1 | 3 | - | \$ 7.000,00 |

Fuente: Elaboración propia

En la región, se comercializan en mayor proporción productos de madera aserrada que son destinados a las obras de construcción y a la fabricación de muebles y productos de carpintería. También se reporta el aprovechamiento frecuente de la madera para la realización de obras en la finca, principalmente postes para cerca, columnas y varetas para la construcción de corrales, puentes y viviendas.

De acuerdo con la información suministrada por los usuarios de planes de manejo forestal y pequeños extractores que se entrevistaron, la distribución y comercialización de los productos de madera aserrada se realiza en los principales puntos de comercialización que se encuentran entre San José del Guaviare y Bogotá, que incluye los municipios de San Martín, Granada, Guamal, Acacías y Villavicencio, del departamento del Meta.

Según el estudio realizado por DEISPAZ (2014), basado en encuestas que se realizaron en 78 establecimientos dedicados a la transformación y comercialización de madera, ubicados en la ruta de salida desde San José del Guaviare hacia Villavicencio, considerando los mu-

nicipios de San Martín, Granada, Guamal y Acacías, las especies que más se comercializan de las reportadas en este estudio son el Milpo o Flor morado (*Erismia uncinatum*) (20 % de los establecimientos entrevistados), Cedro amargo (*Cedrela odorata*) (12 %), Pavito, (*Jacaranda copaia*) (10 %), Machaco (*Simarouba amara*) (7 %), Roble (*Tabebuia roseae*) (5 %) y Achapo (*Cedrelinga cateniformis*) (3 %). Se puede sugerir que especies como el Algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber) y el Parature (*Goupia glabra* Aubl.), que son especies sobre las cuales también se autorizan mayores volúmenes de madera para su comercialización y que tienen mayor comercio en Bogotá.

Con base en la estimación del valor comercial de la madera escuadrada de especies nativas autorizadas y movilizadas en Colombia, publicado en el periódico institucional Gobernanza Forestal (2014), se reporta el precio promedio por metro cúbico de venta directa al público en cada ciudad, de las especies: *Cedrelinga cateniformis* (\$ 994.500), *Cedrela odorata* (\$ 923.497), *Jacaranda copaia* (\$ 733.330), *Brosimum utile* (\$ 342.342) e *Hymenaea courbaril* (\$ 288.194). El precio ponderado



por m³ de madera en el mercado nacional es de \$ 752.322. Esta estimación se basa, en la aplicación de 61 encuestas a depósitos, tanto mayoristas como comercializadores, de 15 ciudades del país.

Costos y beneficios del aprovechamiento y comercialización de la madera

Conforme a la tabla 5, los mayores costos se presentan en el transporte (45,05 %) y la extracción de la madera (37,55 %), los costos de aprobación y seguimiento a los PMF y movilización de la madera suman el 11,14 %. La utilidad de la actividad forestal es del 29 %, considerando un PMF aprobado por un período de cinco años en donde se autoriza movilizar 3000 m³ de madera; y considerando el precio ponderado por m³ de madera en el mercado nacional (\$ 752.322) (Macía, 2014).

Los beneficios obedecen a la venta directa de la madera según la especie, el producto y su destino final. El costo del transporte puede variar según la distancia entre el bosque de origen y el destino final, de la cantidad de madera a transportar y la capacidad del vehículo.

Tabla 5. Costos y beneficios del aprovechamiento y transporte de la madera aserrada puesta en un punto de distribución en Villavicencio (Meta)

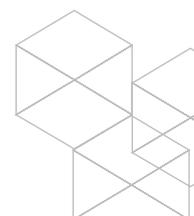
| Actividad | Costo (%) |
|--|---------------|
| Elaboración y aprobación del plan de manejo forestal (PMF) | 2,13 |
| Visitas de control y seguimiento durante la ejecución del plan | 1,25 |
| Salvoconductos de movilización | 7,76 |
| Apeo y escuadrado de la madera en el bosque y transporte hasta la carretera | 37,55 |
| Transporte (Camión sencillo 600 HP) desde El Retorno (Guaviare) hasta algún punto de distribución en Villavicencio (Meta). Capacidad: 500 piezas ≈ 15 m ³ | 45,05 |
| Cargue y descargue de la madera a todo costo | 6,26 |
| Total | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Puntos críticos

Se identificaron algunos puntos críticos relevantes dentro de las actividades relacionadas con el aprovechamiento y comercialización de la madera proveniente de bosques naturales:

- La oferta de especies maderables en los relictos de bosque es baja, como producto de las intervenciones inadecuadas que se han realizado por parte de los colonos: tala intensiva (sobreexplotación) de especies maderables con valor comercial o deforestación para la implementación de prácticas agrícolas o ganaderas. Por esta razón es importante seguir realizando proyectos forestales que aumenten la oferta de especies nativas maderables con alto valor comercial.
- Como consecuencia de las prácticas inadecuadas que se han implementado en la región, en relación con la extracción de maderas nativas finas; especies con un alto valor comercial, como el cedro amargo (*Cedrela odorata*), cuyubí (*Minquartia guianensis*), cachicamo (*Calophyllum brasiliense*), pavito (*Jacaranda copaia*), árbol vaca (*Brosimum utile*), ya no son frecuentes en los bosques del área sustraída. Estas especies han tenido que ser reemplazadas por otras como el parature (*Goupia glabra*), el machaco (*Simarouba amara*), cariaño (*Trattinnickia boliviana*), dormideros (*Albizia pedicellaris*, *Enterolobium schomburgkii*, *Parkia discolor*, *Parkia panurensis*) para cubrir algunas necesidades domésticas y demanda en el mercado local. Por otro lado, la ausencia de esas maderas finas en el área sustraída, ha incentivado la intervención en zonas de reserva forestal para la extracción de estas especies para su comercio ilegal.
- No hay transparencia en los estudios que se realizan para el aprovechamiento racional del recurso madera en el bosque (planes de manejo forestal) y se presentan diversas formas de adquirir y comercializar la madera ilegalmente. Esto sugiere que el volumen de madera movilizada para comercialización es mayor al volumen autorizado por la corporación, lo que hace de esta práctica silvicultural una actividad que amenaza la sostenibilidad del recurso y que



- va en contravía de lo establecido en el Régimen de Aprovechamiento Forestal (Decreto 1791 de 1996).
- No se tiene un suficiente control sobre las actividades de aprovechamiento y comercialización de la madera que se extrae de los bosques naturales. Por lo anterior, es difícil obtener estadísticas que permitan identificar el flujo de madera que se consume en la región y la que se exporta hacia otros sectores del país. Sin embargo, la corporación CDA, a través de la resolución 474 de 2013, estableció el formato para el libro de operaciones para las empresas forestales de transformación o comercialización de productos forestales de la jurisdicción. Se espera que a través de la información registrada en este libro de operaciones, se pueda hacer un control sobre el volumen de madera autorizada (a quién se le compra, a quién se le vende, qué tipo de producto y en qué cantidades) bajo la figura de aprovechamientos forestales persistentes.
 - Las pequeñas empresas forestales (carpinterías y ebanisterías) se ven afectadas por la figura legal para poder acceder a la madera, pues los costos en que incurre la elaboración de un plan de manejo forestal y demás trámites para legalizar la madera son muy elevados para la cantidad de madera que requieren para trabajar en su negocio. La única forma de adquirir la madera de forma legal es comprarla directamente en el depósito a un costo muy elevado, o comprando directamente al finquero o aserrador sin licencia (esto sucede con frecuencia).
 - El uso de tecnologías obsoletas y la falta de seguridad industrial en las labores de extracción y transformación de la madera, es muy frecuente en los depósitos y ebanisterías que se visitaron. Los operarios no utilizan correctamente los medios y equipos de protección, las máquinas y equipos son antiguos y poco seguros, y no se realizan las acciones preventivas para garantizar la seguridad de los trabajadores (figura 12).

Figura 12. Forma convencional de trabajo en los depósitos y ebanisterías de la región



Fuente: Elaboración propia



- Los depósitos como negocios de servicio, presentan muchas fallas en la planeación y organización de sus actividades, incurriendo en la baja calidad de las maderas que consume el sector. No tienen un conocimiento claro de las ventas anuales, ni del manejo de su negocio. Deben mejorar las técnicas de almacenamiento, secado e inmunización de la madera.
- La forma del secado influye mucho en la calidad y durabilidad de la madera. En la región, la forma que se utiliza para secar la madera aserrada es el secado natural o al aire libre, ya que ninguno de los depósitos o ebanisterías cuentan con hornos de secado y no hay una empresa que preste este servicio. El tiempo de secado de la madera es insuficiente por el afán de cumplirle al cliente. El SENA recientemente adquirió una cámara de secado con capacidad de 10 m³, para sus programas de formación, se encuentra en proceso de instalación y capacitación para su manejo.
- Hay competencia desleal entre las ebanisterías, porque no se mantienen los precios de venta al público, ya no se valora el trabajo con madera como antes, la gente no está dispuesta a pagar lo que realmente vale la obra.
- Los madereros no tienen la iniciativa de agremiarse para obtener beneficios en aspectos relacionados con acceso al recurso, transformación y comercialización. Sin embargo ya hay algunas intenciones de asociarse y crear empresa en la región.

Acciones futuras

En este contexto, y como parte de las líneas de acción que se están adelantando para el control y reducción de la deforestación y fortalecimiento del sector forestal-madera, a través de la implementación del proyecto de consolidación de la Gobernanza Forestal en Colombia; se sugiere adelantar acciones de investigación que promuevan el manejo sostenible de los bosques y los agroecosistemas como una estrategia para el desarrollo forestal en el departamento del Guaviare:

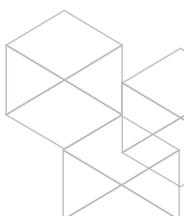
- Adelantar estudios de identificación y monitoreo de áreas fenológicas semilleras de especies made-

rables en relictos de bosque del área sustraída del departamento del Guaviare.

- Iniciar ensayos de propagación y manejo de especies nativas maderables que no se encuentran dentro del paquete tecnológico del Instituto SINCHI y que representan un potencial económico en la región.
- Seguir promoviendo y fomentando la implementación de agroecosistemas en la región, como un modelo productivo que aporta a la conservación de los bosques, aumenta la oferta de especies maderables comerciales y mejora la economía de la región
- Adelantar propuestas de investigación dirigidas al mejoramiento de las tecnologías para el aprovechamiento y la transformación de la madera y la comercialización de sus productos en mercados regionales y nacionales.
- Avanzar en el desarrollo de tecnologías que permitan el reconocimiento de las especies maderables que se comercializan en la región, como una herramienta de apoyo a las acciones de seguimiento, control y vigilancia que realizan las autoridades ambientales en el sector forestal-madera. Para esto es prioritario tener en cuenta las iniciativas y avances que se tienen al respecto como el desarrollo de un aplicativo de descripción anatómica, macroscópica y microscópica de especies forestales (López *et al.*, 2014); y el uso de un microscopio digital para la identificación de maderas a través de las características microscópicas de las especies (Marín, 2014).

Conclusiones

La oferta actual de volumen comercial de especies maderables con mayor uso en la región, es en promedio de 34,47 m³ por hectárea ($\pm 29,61$; CV del 85,90 %), en la cobertura bosque denso alto de tierra firme del área sustraída del departamento del Guaviare. La alta variabilidad en el promedio de volumen está asociada a la baja densidad de árboles aprovechables que hay en estos bosques.



Una alternativa que permite potenciar la oferta de especies maderables con alto valor comercial en la región, es el establecimiento de sistemas productivos sostenibles, siguiendo los modelos que existen para la región; como parte de las iniciativas y programas que se están adelantando en el país, para mejorar la gobernanza de los bosques y ecosistemas forestales.

Para la región es una necesidad ampliar y mejorar el manejo de las especies maderables en los agroecosistemas, mejorar las técnicas de extracción y transformación de las maderas y fortalecer los canales de distribución y estrategias de comercialización en mercados regionales y nacionales que apoyen la comercialización legal de la madera y potencien la región con su vocación natural forestal.

Bibliografía

- Ávila, C.** (5 de noviembre de 2016). El país pierde 48.000 hectáreas de bosque al año. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/tala-de-arboles-ilegal-en-colombia-51113>
- Bracho, L. S., & Mendoza, C. E.** (2009). *Caracterización y análisis de la cadena productiva del sector madera de Santander*. (Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander). 104 p.
- Cárdenas, D. & Ramírez, J.** (2004). Plantas útiles y su incorporación a los sistemas productivos del departamento del Guaviare. *Caldasia*, 26(1); 95-110.
- Cárdenas, D. & Salinas, N.** (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte*. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 p.
- Castaño, N., Cárdenas, D. & Otavo, E.** (2007). *Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, CORPOAMAZONIA. 266 p.
- Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola-CICDA.** (2004). *Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas*. Lima: Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola-CICDA. 90 p.
- Consortio para el desarrollo integral sostenible y la paz del Guaviare-DEISPAZ.** (2014). *Estudio prospectivo de la cadena forestal productiva en el departamento del Guaviare*. Bogotá: Consorcio para el desarrollo integral sostenible y la paz del Guaviare-DEISPAZ. 203 p.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur del Amazonas, Corpoamazonia.** (2010). Resolución 0727 de julio 19 de 2010. *Estatuto de flora silvestre “aprovechamiento de recursos forestales no maderables”*. Recuperado de http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Reglamentacion_Definitiva.pdf
- Gutiérrez, E., Moreno, R. & Villota, N.** (2013). *Guía de cubicación de madera*. Pereira: Corporación Autónoma Regional del Risaralda (CARDER). 44 p.
- IDEAM** (2009). *Caracterización y dimensionamiento del sub-registro forestal en Colombia. Diseño y puesta en marcha del instrumento de captura de datos (subregistro) e información generada por actividades informales en los procesos de extracción, transformación y comercio de productos forestales*. Bogotá: IDEAM. 183 pp.
- IDEAM.** (2015). *Sexto Boletín de Alertas Tempranas por Deforestación (AT-D) para Colombia - Segundo semestre del año 2015*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM.** (2016). *Octavo Boletín de Alertas Tempranas por Deforestación (AT-D) para Colombia - Tercer trimestre del año 2016*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM.** (2017). *Décimo Boletín de Alertas Tempranas por Deforestación (AT-D) para Colombia - Primer trimestre del año 2017*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.** (2013). *Fichas técnicas de especies de uso forestal y agroforestal en la Amazonia colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.



- López, R. & Cárdenas, D.** (2002). *Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. 100 p.
- López, R. & Montero, M.** (2005). *Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 128 p.
- López, R., Pulido, N. & Nieto, J.** (2014). Aplicativo de descripción de especies forestales. *Gobernanza Forestal*, pp. 4-5.
- Macía, F.** (2014). Cálculo del valor comercial de la madera extraída de los bosques naturales. *Gobernanza Forestal*, pp. 3.
- Marín, J.** (2014). Pruebas de microscopio digital como herramienta para la identificación de madera. *Gobernanza Forestal*, pp. 6.
- Moreno, R.** (2015). *Hay avances en el proyecto de Gobernanza Forestal*. Bogotá: Fedemaderas, pp 13-16.
- CAMACOL** (1998). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98. Título G-Edificaciones de Madera*. Disponible en <https://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/TituloA.PDF> 66 p.
- Peña, L., Amado, A., Samacá, R., Rodríguez, J., Torres, G., Arenas, J., Vera, G., López, A., Murcia, U., Melgarejo, L. & Alonso, J.** (2016). *Orientaciones para reducción de la deforestación y degradación de los bosques: Ejemplo de la utilización de estudios de motores de deforestación en la planeación territorial para la Amazonia colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI y GIZ. 41 p.
- República de Colombia.** (1996). Decreto 1791 de 1996. Por el cual se regula el aprovechamiento forestal en el país. Colombia. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791_1996.pdf/308a3f2c-bb6d-48f2-81e0-cdoc2d983e3f
- República de Colombia.** (2013). Resolución 474 de 2013. Por la cual se modifica la resolución 117 de 2008 que estableció el formato para el libro de operaciones para las empresas forestales de transformación o comercialización de productos forestales de la jurisdicción de la Corporación CDA. Colombia. Recuperado de <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/1.%20Normatividad%20CIF/2.%20Especies%20Forestales%20Comerciales/3.%20Resoluci%C3%B3n%20474%20de%202013.pdf>
- República de Colombia.** (2014). Resolución 347 de 2014. Por la cual se regula el uso y aprovechamiento de algunos recursos forestales en el territorio de jurisdicción de la C.D.A y se dictan otras disposiciones. Colombia. Recuperado de <http://www.defensoria.gov.co/es/public/resoluciones/1499/Resoluci%C3%B3n-347-de-2014-Actos-Administrativos.htm>
- WWF-Colombia.** (2013). *Maderas de Colombia/Woods of Colombia*. Bogotá: WWF. 88 p.
- WWF-Colombia.** (2015). *Informe: Causas de la ilegalidad de la madera en Colombia*. Bogotá: WWF. 44 p.
- WWF-Colombia.** (2015a). *Maderas del Amazonas. Fichas técnicas para la identificación de especies maderables de Colombia*. Bogotá: WWF. 53 p.
- WWF-Colombia.** (2015b). *Maderas del Putumayo. Fichas técnicas para la identificación de especies maderables de Colombia*. Bogotá: WWF. 53 p.



Anexo 1. Especies de uso maderable que se encuentran en los relictos de bosque del área sustraída del departamento del Guaviare

| |
|---|
| ANACARDIACEAE |
| <i>Spondias cf. mombin</i> L. |
| <i>Tapirira guianensis</i> Aubl. |
| APOCYNACEAE |
| <i>Aspidosperma excelsum</i> Benth. |
| <i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson |
| ARALIACEAE |
| <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerf. & Frodin |
| ARECACEAE |
| <i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav. |
| BIGNONIACEAE |
| <i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don |
| BOMBACACEAE |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. |
| BURSERACEAE |
| <i>Protium amazonicum</i> (Cuatrec.) Daly |
| <i>Protium grandifolium</i> Engl. |
| <i>Trattinnickia boliviana</i> (Swart) Daly |
| CAESALPINIACEAE |
| <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. |
| <i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith |
| <i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber |
| CECROPIACEAE |
| <i>Pourouma bicolor</i> Mart. |
| CELASTRACEAE |
| <i>Goupia glabra</i> Aubl. |
| CLUSIACEAE |
| <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. |
| COMBRETACEAE |
| <i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell |
| EUPHORBIACEAE |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão |
| LEGUMINOSAE |
| <i>Clathrotropis macrocarpa</i> Ducke |
| <i>Dipteryx cf. micrantha</i> Harms |
| <i>Hymenolobium cf. heterocarpum</i> Ducke |
| <i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms |
| <i>Vataireopsis iglesiasii</i> Ducke |
| LAURACEAE |
| <i>Aniba cf. panurensis</i> (Meisn.) Mez |
| <i>Ocotea cf. aciphylla</i> (Nees & Mart.) Mez |
| <i>Ocotea longifolia</i> Kunth |
| LECYTHIDACEAE |
| <i>Couratari guianensis</i> Aubl. |
| <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori |
| MELASTOMATACEAE |
| <i>Miconia serrulata</i> (DC.) Naudin |
| MIMOSACEAE |
| <i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke |

| |
|--|
| <i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth. |
| <i>Inga alba</i> (Sw.) Willd. |
| <i>Parkia discolor</i> Spruce ex Benth. |
| <i>Parkia nitida</i> Miq. |
| <i>Parkia panurensis</i> Benth. ex H.C. Hopkins |
| MORACEAE |
| <i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber |
| <i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg |
| <i>Brosimum utile</i> (Kunth) Oken |
| <i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav. |
| <i>Perebea angustifolia</i> (Poepp. & Endl.) C.C. Berg |
| <i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul |
| <i>Sorocea muriculata</i> Miq. |
| MYRISTICACEAE |
| <i>Iryanthera juruensis</i> Warb. |
| <i>Iryanthera lancifolia</i> Ducke |
| <i>Iryanthera ulei</i> Warb. |
| <i>Virola calophylla</i> (Spruce) Warb. |
| <i>Virola carinata</i> (Benth.) Warb. |
| <i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb. |
| <i>Virola flexuosa</i> A.C. Sm. |
| <i>Virola sebifera</i> Aubl. |
| OCHNACEAE |
| <i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch. |
| OLACACEAE |
| <i>Minquartia guianensis</i> Aubl. |
| RUBIACEAE |
| <i>Calycophyllum megistocaulum</i> (K. Krause) C.M. Taylor |
| <i>Capirona decorticans</i> Spruce |
| SAPOTACEAE |
| <i>Chrysophyllum cf. amazonicum</i> T.D. Penn. |
| <i>Micropholis guyanensis</i> (A. DC.) Pierre |
| <i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre |
| <i>Pouteria cladantha</i> Sandwith |
| <i>Pouteria cuspidata</i> (A. DC.) Baehni |
| <i>Pouteria glauca</i> T.D. Penn. |
| SIMAROUBACEAE |
| <i>Simarouba amara</i> Aubl. |
| TILIACEAE |
| <i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth. |
| VERBENACEAE |
| <i>Vitex klugii</i> Moldenke |
| <i>Vitex orinocensis</i> Kunth |
| VOCHYSIACEAE |
| <i>Erisma uncinatum</i> Warm. |
| <i>Qualea cf. ingens</i> Warm. |
| <i>Qualea paraensis</i> Ducke |
| <i>Vochysia ferruginea</i> Mart. |
| <i>Vochysia lomatophylla</i> Standl. |



4.

Valoración de Productos no Maderables en Relictos de Bosque del Departamento del Guaviare

Ángela García , Sandra Castro, Bernardo Giraldo y Jaime Barrera



Resumen

La región amazónica presenta una alta biodiversidad, con varias especies que pueden suministrar diferentes servicios de aprovisionamiento, los cuales frecuentemente se desconocen. En este documento se presentan los resultados de la valoración de productos no maderables priorizados en relictos de bosque del área de sustracción del departamento del Guaviare. De acuerdo con muestreos de vegetación realizados en relictos de bosque denso alto de tierra firme, se seleccionaron las especies más representativas en términos de su abundancia y frecuencia y se determinó su oferta en fincas de usuarios del bosque. Se evaluaron aspectos productivos, teniendo en cuenta la parte de la planta con potencial de uso, y se hicieron recomendaciones técnicas para el adecuado aprovechamiento de estos productos en el bosque. Esta información sirve como insumo para fomentar y orientar el aprovechamiento sostenible de los relictos de bosque de la región y la generación y fortalecimiento de las cadenas de valor con productos de la biodiversidad local.

Palabras clave: *Oferta del recurso, potencial de uso, fenología, cosecha, aprovechamiento sostenible*

Introducción

La biodiversidad es la base del mantenimiento de un flujo diverso y variado de servicios que determinan el bienestar humano y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones de los ecosistemas (MADS, 2012; Martín-López et al., 2012). De acuerdo con la clasificación y definición presentada por Martín-López et al. (2012); basada en la evaluación de ecosistemas del milenio de España, dentro de los servicios ecosistémicos se consideran los de abastecimiento que son los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas como el alimento, el agua dulce, las materias primas de origen biótico/geótico, el acervo genético y las medicinas naturales. Las especies vegetales arbóreas como materias primas de origen biótico, ofrecen diferentes opciones de uso, ya que aparte de la madera se pueden aprovechar estructuras vegetativas como raíces, tallos, ramas, cortezas y hojas; estructuras reproductivas como flores, frutos y semillas; extractos y exudados. Estos bienes o productos de origen vegetal

hacen parte de los denominados productos no maderables del bosque (PNMB) y actualmente se reconoce su importancia en el bienestar de muchas comunidades rurales y su contribución a los procesos de ordenación y manejo forestal en los bosques tropicales y la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad (Torres & Casas, 2014; MADS, 2012; López, 2008; Gonzáles, 2003).

El departamento del Guaviare corresponde a una de las mayores áreas de intervención en la Amazonia colombiana. La dinámica de intervención influenciada por los procesos de colonización que se han presentado en la región, ha provocado una fragmentación del paisaje, han quedado como resultado pequeños parches o relictos de bosque. Estos relictos cada vez más se han reducido, debido a la alta intervención de áreas que se han convertido en praderas con un proceso de degradación y posterior erosión completa de suelos, producto de una actividad que no corresponde a la vocación de los suelos de la Amazonia, pues esta es de tipo forestal. Sin embargo, aún se conserva buena parte de estos relictos de bosque y es aquí donde el capital natural tiene un potencial importante, ya que en estos bosques se encuentran especies vegetales promisorias que han sido subutilizadas o que son poco conocidas a nivel local, y que pueden beneficiar a los propietarios del bosque y a las comunidades que las manejen.

De acuerdo con inventarios florísticos realizados dentro del área de sustracción de la reserva forestal del departamento del Guaviare, en zonas de mediana y baja intervención, en la cobertura de bosque denso alto de tierra firme, que corresponde a una de las áreas más extensas de la región, se han identificado las especies vegetales arbóreas con mayor oferta en términos de su abundancia, frecuencia y dominancia (Índice de Valor de Importancia Ecológica-IVI), de las cuales se pueden hacer encadenamientos de valor muy concretos para mercados específicos como la industria alimentaria, cosmética, nutracéutica, farmacéutica, entre otras.

Es así como uno de los objetivos de este trabajo fue el desarrollo e innovación de modelos de producción sostenible para los relictos de bosque que promuevan cadenas de valor con productos de la biodiversidad. Como un aporte al cumplimiento de este objetivo, en este documento se presentan los resultados de la valoración



de bienes no maderables en relictos de bosque del área de sustracción del departamento del Guaviare.

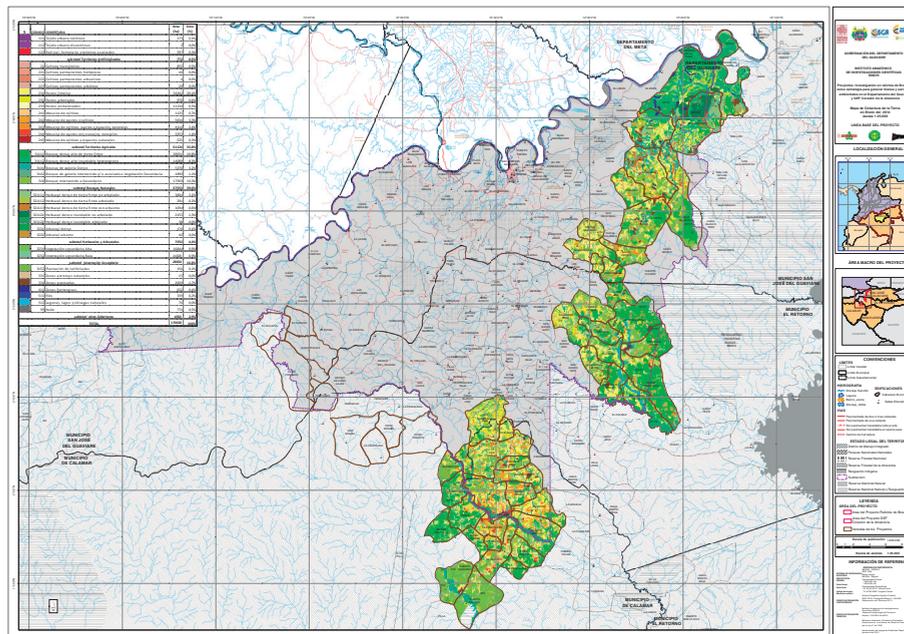
Métodos

Priorización de las especies no maderables

Para seleccionar las especies y productos no maderables con potencial de uso para su valoración, se utilizaron los resultados de los muestreos de vegetación realizados por el proyecto en relictos de bosque denso alto de

tierra firme (BADTF) del área sustraída de la reserva forestal en zonas de mediana y baja intervención (figura 1). Estos muestreos corresponden a 36 parcelas de 50 x 50 m (0,25 ha) que se establecieron en áreas boscosas de fincas de usuarios de los municipios de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar y que están distribuidas en 12 parches o relictos de bosque denso alto de tierra firme priorizados.

Figura 1. Área de influencia del proyecto



Fuente: Elaboración propia

La tonalidad verde que más predomina dentro del área corresponde a la cobertura de bosque denso alto de tierra firme en donde se realizaron los muestreos de vegetación.

De acuerdo con la tabla de IVI que se generó con esta información, se hace un primer filtro, seleccionando de la lista de las especies las de mayor IVI (20 primeras especies con opción de uso) para iniciar los estudios de valoración. Esta selección resulta de búsquedas bibliográficas avanzadas y otros procesos de investigación.

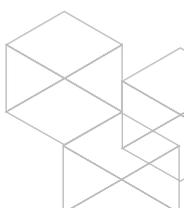
Para poder establecer con precisión las unidades de medida y las variables para la recolección de información

sobre la productividad de la parte de la planta con potencial de uso, las especies y productos seleccionados se clasifican de acuerdo con las categorías propuestas por Torres y Casas (2014).

Inventarios de oferta

Tamaño de muestra

Para determinar la oferta de las especies seleccionadas dentro de la cobertura de bosque denso alto de tierra firme del área del proyecto, se establecieron 100 transectos de 10 x 100 metros (0,1 hectáreas) en predios de 100 usuarios distribuidos así: 40 en el municipio de San José del Guaviare, 40 en El Retorno y 20 en Calamar. En cada predio se levantó una parcela de inventario.



La representatividad del muestreo se comprobó con el estadístico para poblaciones finitas (Cochran, 1977), siendo N el área total de la cobertura de bosque denso alto de tierra firme del área del proyecto):

$$N = \frac{t^2 (CV\%)^2}{E\% + t^2 (CV\%)^2}$$

Con este estadístico se pudo comprobar que las 100 parcelas evaluadas son una muestra representativa del total de la cobertura de bosque denso alto de tierra firme que se interpretó dentro del área del proyecto (n=78, con un error no mayor a 10 % y una probabilidad del 95 % de confianza).

Variables de medición

Al interior de las parcelas se evalúan todos los individuos existentes de las especies seleccionadas a partir de 10 cm de DAP, y se miden variables como: altura fustal (m), altura total (m) y diámetros de copa mayor y menor (m) en los individuos arbóreos, altura a los racimos (m) en las palmas, y diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros. También se registra el estado fenológico de cada individuo. En el caso de los árboles, se registra la ausencia-presencia del fenómeno en la copa del árbol, utilizando la metodología propuesta por Fournier (1974), y en las palmas se cuenta el número de racimos presentes y el estado fenológico de cada uno de ellos (botón floral, flor abierta, frutos inmaduros y frutos maduros) (Cabrera y Wallace, 2007).

Análisis de datos

Con la información obtenida en campo, se estima la densidad de árboles por especie por hectárea, en cada uno de los municipios, dentro del área del proyecto. También se presenta la estadística descriptiva de cada una de las variables estructurales medidas, y se hace un análisis del estado fenológico de los árboles y las palmas, y la oferta de racimos en el caso de las palmas.

Caracterización de la productividad por grupos de uso

La medición de las variables productivas se realiza por grupos de uso, de acuerdo con las categorías propuestas por Torres y Casas (2014):

Frutos y semillas de cualquier tipo de planta

Dentro de este grupo, se priorizan las palmas, inicialmente se deben conocer los picos de fructificación de las especies en la zona, para caracterizar la producción de frutos y aspectos de cosecha, para lo cual se tiene en cuenta los resultados de las evaluaciones fenológicas realizadas por el Instituto SINCHI (García, 2013). Se miden variables como número de racimos por palma, estados fenológicos de los racimos, peso de los frutos por racimo en diferentes estados de madurez, duración de cada una de las actividades y jornadas de cosecha.

Secciones de cortezas

Para determinar la cantidad de corteza del tronco o fuste, es necesario medir el espesor de corteza (Romhan & Ramírez, 2010). Para medir el espesor de la corteza de las especies seleccionadas, se colectan muestras de árboles en pie (> 10 cm DAP) de acuerdo con los procedimientos y protocolos establecidos (Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia). El espesor se mide con un calibrador pie de rey y con este dato se puede estimar el volumen de corteza por árbol.

Con base en lo indicado por Romhan & Ramírez (2010), con el espesor de corteza (ec) se determina el espesor diametral de corteza (edc). Como se hace una única medida del espesor de corteza (por una sola cara del árbol), el espesor diametral de corteza se considera como el doble:

$$edc = 2 * ec$$

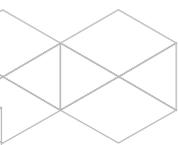
Conocido el edc normal, se estima el diámetro normal sin corteza (dnsc):

$$dnsc = dncc - edc$$

dncc= diámetro normal con corteza; que es el diámetro que se mide a las 1,30 metros del suelo (DAP).

Aplicando la ecuación establecida por el Carvajal et al. (1979), se calcula el volumen de la madera en pie con corteza, y con el diámetro sin corteza (dsc) se estima el volumen sin corteza:

$$V = 0.785 \times DAP^2 \times Hc \times FFB$$



FFB: Factor de forma balanceado obtenido por regresión múltiple en función del DAP y la altura comercial (Hc)

Hc: Altura comercial en metros

DAP: Diámetro a la altura del pecho (dncc)/dnsc (diámetro normal sin corteza)

Para el cálculo del FFB se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{FFB} = 0.97983 - 0.08471 \times \text{DAP} - 0.01327$$

Por diferencia entre el volumen obtenido con corteza y el volumen sin corteza, se obtiene el volumen de corteza del tronco (Romhan & Ramírez, 2010):

$$V \text{ corteza} = V_{cc} - V_{sc}$$

La forma habitual de expresar la cantidad de corteza de los árboles es a través del porcentaje de corteza (Romhan & Ramírez, 2010):

$$P \text{ corteza (\%)} = \frac{V_{cc} - V_{sc}}{V_{cc}} * 100$$

Látex o aceites extraídos del tronco

Para obtener el látex y la resina de la corteza de las especies priorizadas, se emplea el sistema de rayado o sangría de acuerdo con las técnicas y procedimientos recomendados (ElSira-GIZ, 2012; Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia), y utilizando el kit básico de rayado para extraer el látex de árboles de caucho (*Hevea brasiliensis*). Los individuos que se seleccionan para el rayado

son mayores a 10 cm DAP (diámetro medido a los 1,30 m del suelo), se garantiza que no sean árboles jóvenes, porque la corteza es muy delgada y se adhiere fácilmente al cambium, lo que compromete la producción futura (Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia). Durante esta actividad, se registra la cantidad de látex extraído por árbol por unidad de tiempo.

Criterios y especificaciones técnicas para la cosecha

Según la normatividad vigente y los protocolos de aprovechamiento para la flora silvestre no maderable (Torres & Casas, 2014; Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia; Decreto 1791, 1996), así como los ejercicios de valoración y caracterización de cosecha y productividad de las especies priorizadas realizados por el proyecto, se hacen unas recomendaciones técnicas por grupos de uso, para la cosecha de los productos seleccionados.

Resultados

Priorización de las especies no maderables con opción de uso en la región

De acuerdo con la tabla 1 de Índice de Valor de Importancia que se generó a partir de los inventarios florísticos, y basado en las revisiones de información secundaria, se seleccionaron nueve especies con opción de uso, para adelantar los ejercicios de valoración de la oferta y productividad en relictos de bosque denso alto de tierra firme del área del proyecto. Estas especies acumularon el 60,29 % del IVI total (300 %).

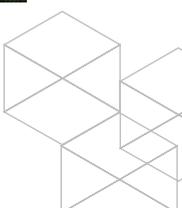


Tabla 1. Especies vegetales arbóreas seleccionadas (filas sombreadas) para su valoración, de acuerdo con su representación en el bosque en términos de IVI (abundancia, frecuencia y dominancia)

| N° | Especie | Familia | Abund. | Frec. | Área basal (m ²) | IVI |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|-------------|------------------------------|---------------|
| 1 | <i>Pseudolmedia laevis</i> | Moraceae | 264 | 33 | 7,10 | 10,94 |
| 2 | <i>Astrocaryum chambira</i> | Arecaceae | 202 | 29 | 7,13 | 9,50 |
| 3 | <i>Euterpe precatoria</i> | Arecaceae | 188 | 31 | 2,33 | 6,61 |
| 4 | <i>Oenocarpus bataua</i> | Arecaceae | 157 | 22 | 3,69 | 6,32 |
| 5 | <i>Virola elongata</i> | Myristicaceae | 152 | 22 | 3,73 | 6,24 |
| 6 | <i>Goupia glabra</i> | Celastraceae | 28 | 15 | 8,84 | 6,22 |
| 7 | <i>Terminalia amazonia</i> | Combretaceae | 31 | 19 | 8,26 | 6,14 |
| 8 | <i>Protium sagotianum</i> | Burseraceae | 120 | 32 | 3,68 | 6,01 |
| 9 | <i>Socratea exorrhiza</i> | Arecaceae | 125 | 29 | 1,94 | 5,00 |
| 10 | <i>Iryanthera laevis</i> | Myristicaceae | 118 | 23 | 2,51 | 4,90 |
| 11 | <i>Crepidospermum rhoifolium</i> | Burseraceae | 117 | 25 | 2,18 | 4,78 |
| 12 | <i>Inga capitata</i> | Mimosaceae | 71 | 28 | 2,31 | 4,05 |
| 13 | <i>Protium calanense</i> | Burseraceae | 82 | 28 | 1,27 | 3,69 |
| 14 | <i>Protium amazonicum</i> | Burseraceae | 70 | 27 | 1,63 | 3,60 |
| 15 | <i>Perebea xanthochyma</i> | Moraceae | 70 | 25 | 1,56 | 3,47 |
| 16 | <i>Crepidospermum goudotianum</i> | Burseraceae | 78 | 25 | 1,17 | 3,42 |
| 17 | <i>Cedrelinga cateniformis</i> | Mimosaceae | 16 | 11 | 4,36 | 3,28 |
| 18 | <i>Dialium guianense</i> | Caesalpinaceae | 20 | 14 | 3,62 | 3,09 |
| 19 | <i>Attalea insignis</i> | Arecaceae | 49 | 12 | 2,32 | 2,86 |
| 20 | <i>Pseudolmedia cf. rigida</i> | Moraceae | 54 | 17 | 1,71 | 2,86 |
| Total 20 especies | | | 2012 | | 71,33 | 102,96 |
| Otras especies | | | 2794 | 1702 | 107,11 | 197,04 |
| Total | | | 4806 | 2169 | 178,44 | 300 |

Fuente: Elaboración propia

Estas especies se agrupan dentro de las siguientes categorías:

Frutos y semillas de cualquier tipo de planta: En esta categoría se incluyen las especies de palma, ya que el potencial de estas especies se encuentra en sus frutos (Carrillo et al., 2017; Castro et al., 2015; Mesa & Galeano; 2013; Castaño et al., 2007; López et al., 2006). En *E. precatoria*, el fruto maduro presenta un elevado contenido de antocianinas (pigmento morado) (Carrillo et al., 2017; Castro et al., 2015), por lo cual puede ser considerado para la extracción del ingrediente para aplicaciones alimenticias, cosméticas y nutraceuticas; como por ejemplo, la elaboración de productos alimenticios funcionales como pulpas y sus derivados (Carrillo et al., 2017; Castro et al., 2015). En *O. bataua*, sus frutos son usados para la extracción de aceite, el cual puede ser considerado para aplicaciones alimenticias,

cosméticas y nutraceuticas por su contenido de ácidos grasos insaturados (omega 3 y 6) (Carrillo et al., 2017). Es fuente de una pulpa con alto contenido de fibra cruda de interés alimenticio (Carrillo et al., 2017). Los frutos de *A. chambira*, poseen un elevado nivel de carotenoides por lo cual pueden ser considerados para la obtención de este pigmento para aplicaciones alimenticias y cosméticas (García & Carrillo, 2015). El endospermo es fuente de una grasa blanca de aroma agradable (similar al aceite de coco), que puede ser considerado para aplicaciones cosméticas (García & Carrillo, 2015). Las semillas de *S. exorrhiza*, son fuente de una grasa que puede ser considerada para aplicaciones cosméticas, aunque su rendimiento es bajo (García & Carrillo, 2015). También se incluyen las especies *V. elongata*, *P. sagotianum*, *C. rhoifolium* e *I. laevis*, ya que son plantas productoras de aceites esenciales y otros compuestos de interés (Gallego, 2016).



Estructuras vegetativas que no comprometen la supervivencia de las plantas (follajes): Dentro de este grupo se incluyen las especies arbóreas en donde su potencial de uso está en el follaje, como *V. elongata*, *P. sagotianum*, *C. rhoifolium* e *I. laevis*. Sus hojas presentan compuestos como los alcaloides y taninos (Gallego, 2016), que las hacen promisorias por su posible actividad biológica, principalmente como antioxidante, citotóxica y/o antimicrobiana. Los taninos presentan aplicación en la industria de tintes naturales.

Secciones de cortezas: En la categoría de secciones de cortezas, se incluyó la especie *V. elongata*, ya que su corteza presenta una gran riqueza fitoquímica (Gallego, 2016), fuente principalmente de compuestos antioxidantes y alcaloides, estos últimos la hacen promisoría

por su posible actividad biológica como citotóxica y/o antimicrobiana. También se incluyen las especies de *P. sagotianum* e *I. laevis* para la evaluación de la riqueza fitoquímica y actividad biológica.

Látex o aceites extraídos del tronco: *V. elongata*, también figura dentro de la categoría de látex o aceites extraídos del tronco. La resina de la corteza es considerada fuente principalmente de compuestos antioxidantes y alcaloides, (Gallego, 2016) estos últimos la hacen promisoría por su posible actividad biológica como citotóxica y/o antimicrobiana. Dentro de este mismo grupo se incluyó *P. laevis*, ya que presenta alcaloides (Gallego, 2016), los cuales pueden estar asociados a actividades citotóxicas y/o antimicrobianas.



Inventarios de oferta de las especies priorizadas

Tabla 2. Densidad promedio por hectárea por municipio de las especies priorizadas en relictos de bosque denso alto de tierra firme del área sustraída del departamento del Guaviare

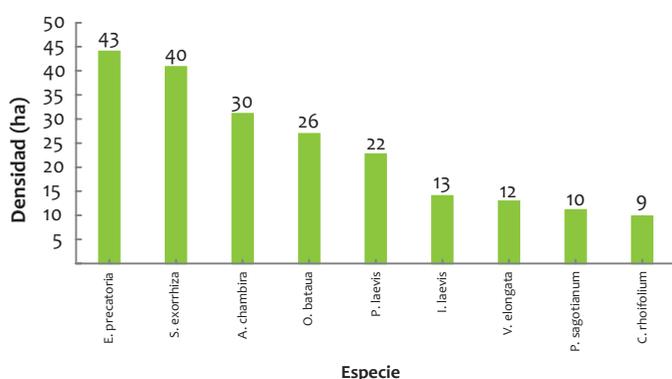
| Especie | Municipio | Densidad promedio (0,1 ha) | Densidad promedio (1,0 ha) |
|--|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Euterpe precatoria</i> (Asái) | Calamar | 1,4 (± 1,31) | 14 |
| | El Retorno | 3,2 (± 2,97) | 32 |
| | San José del Guaviare | 6,9 (± 6,22) | 69 |
| | General | 4,3 (± 4,89) | 43 |
| <i>Socratea exorrhiza</i> (Zancona) | Calamar | 1,8 (± 1,48) | 18 |
| | El Retorno | 1,6 (± 1,68) | 16 |
| | San José del Guaviare | 7,5 (± 9,26) | 75 |
| | General | 4,0 (± 6,61) | 40 |
| <i>Astrocaryum chambira</i> (Chambira) | Calamar | 1,1 (± 1,29) | 11 |
| | El Retorno | 4,1 (± 4,43) | 41 |
| | San José del Guaviare | 3,0 (± 3,17) | 30 |
| | General | 3,0 (± 3,63) | 30 |
| <i>Oenocarpus bataua</i> (Seje) | Calamar | 1,0 (± 2,03) | 10 |
| | El Retorno | 4,1 (± 3,26) | 41 |
| | San José del Guaviare | 2,0 (± 3,29) | 20 |
| | General | 2,6 (± 3,29) | 26 |
| <i>Pseudolmedia laevis</i> (Lecheperra) | Calamar | 1,4 (± 2,04) | 14 |
| | El Retorno | 2,5 (± 2,24) | 25 |
| | San José del Guaviare | 2,3 (± 3,62) | 23 |
| | General | 2,2 (± 2,85) | 22 |
| <i>Iryanthera laevis</i> (Mamito) | Calamar | 0,4 (± 0,49) | 4 |
| | El Retorno | 2,7 (± 3,35) | 27 |
| | San José del Guaviare | 0,4 (± 1,01) | 4 |
| | General | 1,3 (± 2,48) | 13 |
| <i>Virola elongata</i> (Sangretoro) | Calamar | 1,1 (± 1,64) | 11 |
| | El Retorno | 1,9 (± 2,21) | 19 |
| | San José del Guaviare | 0,7 (± 1,73) | 7 |
| | General | 1,2 (± 1,98) | 12 |
| <i>Protium sagotianum</i> (Anime) | Calamar | 0,8 (± 0,97) | 8 |
| | El Retorno | 1,5 (± 1,54) | 15 |
| | San José del Guaviare | 0,7 (± 1,32) | 7 |
| | General | 1,0 (± 1,40) | 10 |
| <i>Crepidospermum rhoifolium</i> (Anime blanco) | Calamar | 0,3 (± 0,57) | 3 |
| | El Retorno | 1,7 (± 1,31) | 17 |
| | San José del Guaviare | 0,5 (± 0,78) | 5 |
| | General | 0,9 (± 1,17) | 9 |

Fuente: Elaboración propia



Las especies con mayor oferta corresponden a las palmas (*E. precatória*, *S. exorrhiza*, *A. chambira* y *O. bataua*), con una densidad promedio entre 26 y 43 palmas por hectárea (tabla 2 y figura 2). En el caso del Asaí (*E. precatória*), la densidad es mayor en bosques que se inundan periódicamente, con un promedio de 200 individuos por hectárea > 10 cm de DAP (considerados como individuos reproductivos) (García, 2017). Las especies *I. laevis*, *V. elongata*, *P. sagotianum* y *C. rhoifolium*, presentan una densidad más baja en comparación con las palmas y *P. laevis* (tabla 2 y figura 2).

Figura 2. Densidad promedio por hectárea de las especies priorizadas en relictos de bosque denso alto de tierra firme del área sustraída del departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

En general, aunque estas especies presentan una mayor densidad dentro de los relictos de bosque, se encuentran dentro de las clases inferiores de diámetro. La altura total promedio de estos árboles es de 14 metros y el diámetro medio de la copa está entre los 6 y 8 metros. La altura promedio en la que las palmas presentan estructuras reproductivas está entre 10 y 13 metros (tabla 3).

Tabla 3. Valor medio de las variables estructurales medias en cada una de las especies priorizadas

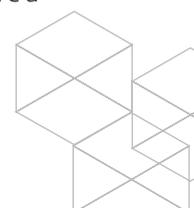
| Especie | Altura a los racimos (m) | DAP (cm) | Altura total (m) | Altura fustal (m) | Diámetro de copa (m) |
|----------------------|--------------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------|
| <i>E. precatória</i> | 12,78 (± 3,49) | 12,05 (± 1,47) | - | - | - |
| <i>S. exorrhiza</i> | 12,33 (± 4,99) | 12,94 (± 1,91) | - | - | - |
| <i>A. chambira</i> | 11,57 (± 5,15) | 19,02 (± 3,10) | - | - | - |
| <i>O. bataua</i> | 10,37 (± 4,27) | 18,18 (± 3,01) | - | - | - |
| <i>P. laevis</i> | - | 17,77 (± 6,59) | 14,05 (± 3,41) | 9,06 (± 2,74) | 6,63 (± 2,14) |
| <i>I. laevis</i> | - | 16,31 (± 4,71) | 14,03 (± 2,82) | 8,53 (± 2,78) | 5,97 (± 1,77) |
| <i>V. elongata</i> | - | 18,18 (± 6,60) | 14,24 (± 3,04) | 9,52 (± 2,66) | 6,41 (± 2,10) |
| <i>P. sagotianum</i> | - | 19,10 (± 6,80) | 14,07 (± 2,96) | 8,17 (± 2,14) | 7,77 (± 2,16) |
| <i>C. rhoifolium</i> | - | 13,33 (± 2,76) | 12,17 (± 2,01) | 7,29 (± 1,91) | 6,69 (± 1,69) |

Fuente: Elaboración propia

Caracterización de la productividad por grupos de uso

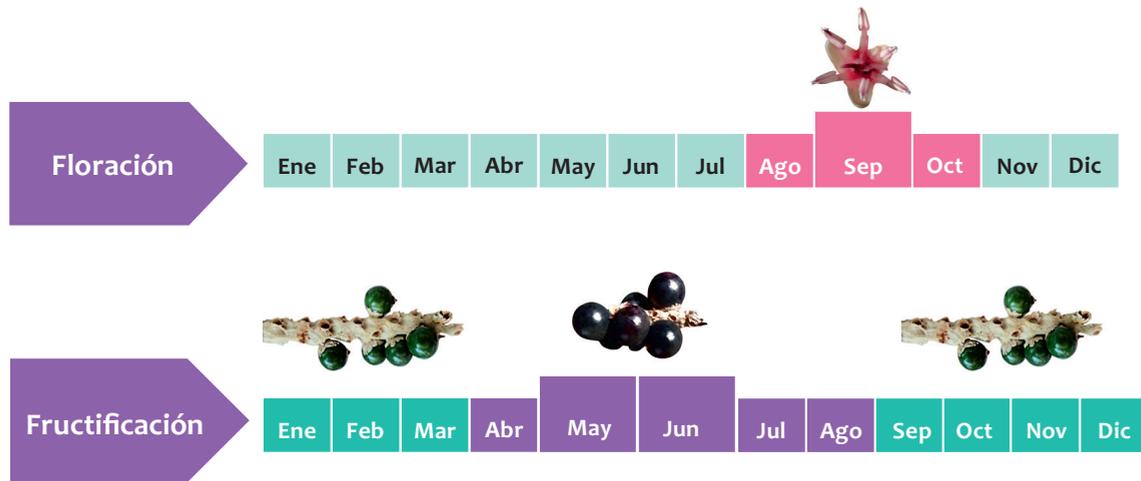
Frutos y semillas de cualquier tipo de planta

En relictos de bosque del departamento del Guaviare, el ciclo fenológico reproductivo de *E. precatória* es anual. Los eventos de floración y fructificación ocurren de manera sincrónica en la población (entre el 60 y 90 % de los individuos florecen o fructifican al mismo tiempo). Los picos de floración se presentan entre los meses de octubre a



diciembre, que corresponden a la época de transición hacia los meses menos lluviosos del año; y la maduración de los frutos, ocurre durante los meses más lluviosos del año (García, 2013) (figura 3).

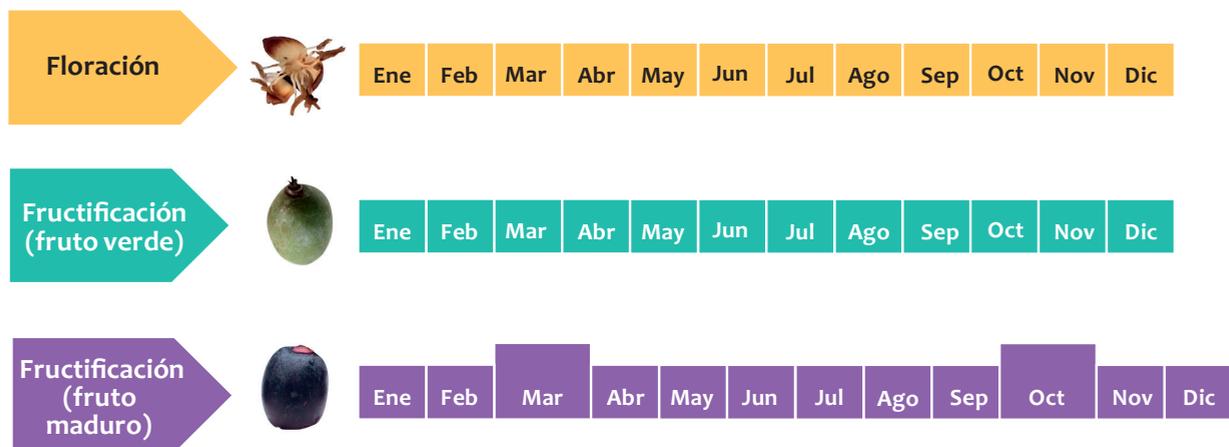
Figura 3. Calendario fenológico de Asái (*Euterpe precatoria*), en áreas boscosas del departamento del Guaviare



Fuente: García, (2013)

El ciclo fenológico reproductivo de *O. bataua* es bianual (García, 2013). La presencia de brácteas florales y racimos con frutos verdes es continua durante todo el año, con una sincronía alta en la población (cuando más del 60 % de los individuos presentan el evento) debido a la larga duración del desarrollo de estas fenofases. Sin embargo, la apertura y caída de las flores masculinas y la fecundación de las flores femeninas, y la maduración de los frutos ocurren con una sincronía baja (entre el 21 y 60 % de los individuos) y se manifiesta de forma irregular durante el año. En el año se pueden identificar dos épocas en las que se presenta la maduración de los frutos: entre los meses marzo-abril (al inicio de la época más lluviosa del año) y septiembre-octubre (época de transición hacia los meses menos lluviosos del año) (figura 4) (García, 2013).

Figura 4. Calendario fenológico de Seje (*Oenocarpus bataua*), en áreas boscosas del departamento del Guaviare

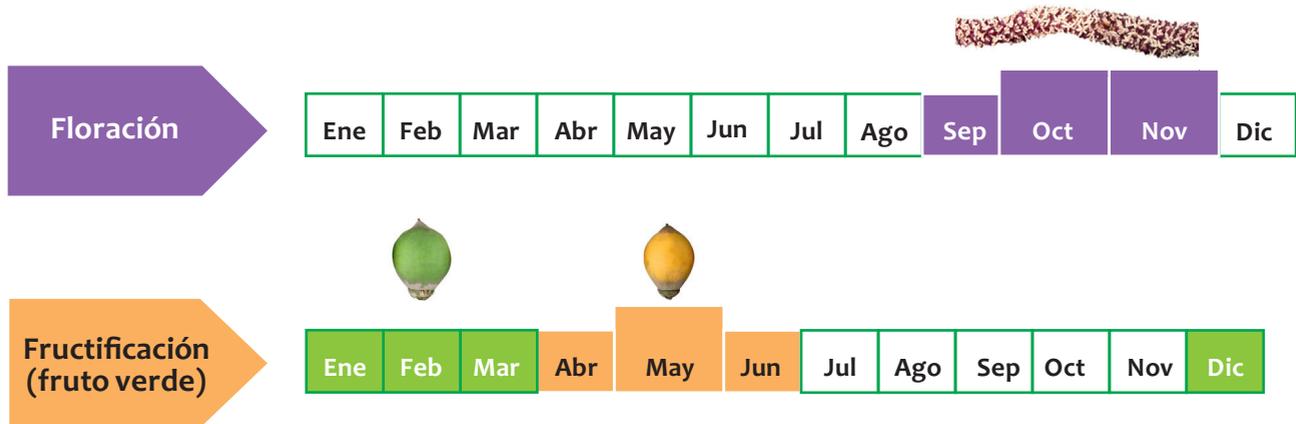


Fuente: García, (2013)



En áreas boscosas del departamento del Guaviare, *A. chambira*, en el mes de octubre, empieza a manifestar la presencia de brácteas florales; a finales de octubre y durante el mes de noviembre, ocurre la apertura de brácteas. Luego de la apertura floral, en diciembre se observa la fecundación de las flores y rápidamente se empiezan a formar los frutos. De aquí en adelante hasta mediados o finales de abril el fruto está en desarrollo, luego empieza a cambiar la tonalidad o matiz del color, de verde a amarillo, que es el color que adquiere el fruto cuando está maduro. La maduración y caída de los frutos se presenta a finales de abril, durante el mes de mayo y hasta principios de junio. Los eventos de floración y fructificación a nivel poblacional son sincrónicos (más del 60 % de los individuos manifiesta un mismo evento reproductivo al tiempo) (García, 2015). (figura 5).

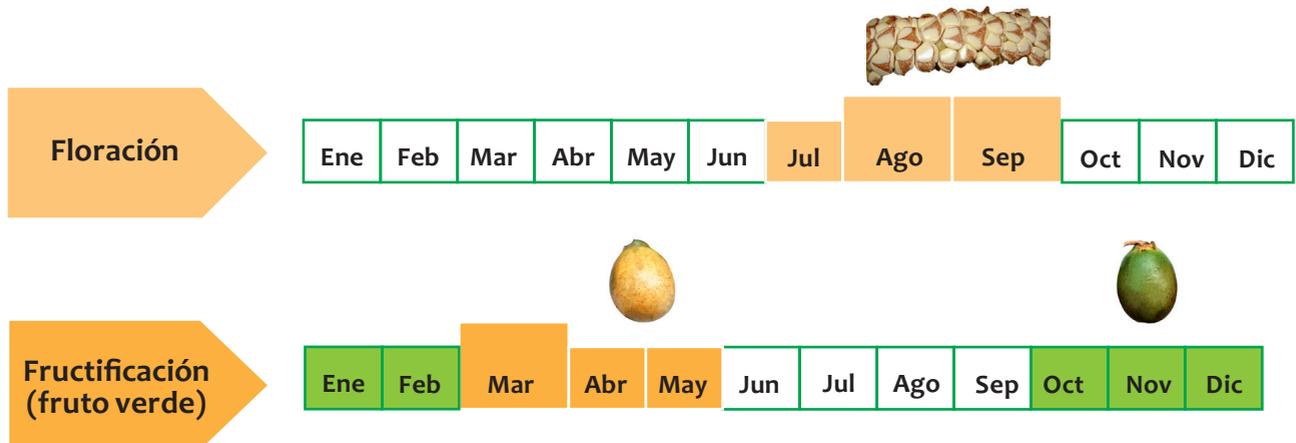
Figura 5. Calendario fenológico de Chambira (*Astrocaryum chambira*), en áreas boscosas del departamento del Guaviare



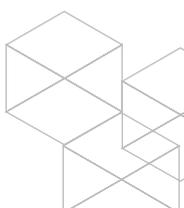
Fuente: Tomado y modificado de García, 2015.

En *S. exorrhiza*, la floración se presenta entre los meses de julio y septiembre como la mayoría de las palmas, y hay una mayor presencia de racimos con fruto maduro entre los meses de febrero a abril (figura 6), también se encuentran racimos en otros estados de madurez (García, 2015).

Figura 6. Calendario fenológico de Zancona (*Socratea exorrhiza*), en áreas boscosas del departamento del Guaviare



Fuente: Tomado y modificado de García, 2015



Con base en los resultados de los ejercicios de caracterización de la productividad y cosecha de estas especies, en la tabla 4 se presenta el valor medio de racimos por palma y el peso de los frutos maduros por racimo de las especies en un ciclo reproductivo.

Tabla 4. Número de racimos por palma y peso de los frutos maduros por racimo de las especies de palmas priorizadas

| Especie | Variables de medición | n | Promedio | Máximo | Mínimo |
|----------------------|------------------------------------|-----|---------------------|--------|--------|
| <i>E. precatória</i> | Número de racimos por palma | 166 | 3 ($\pm 1,10$) | 6 | 1 |
| | Peso de los frutos por racimo (kg) | 200 | 3,7 ($\pm 1,72$) | 10,00 | 1,00 |
| <i>O. bataua</i> | Número de racimos por palma | 36 | 4 ($\pm 1,34$) | 6 | 1 |
| | Peso de los frutos por racimo (kg) | 39 | 15,8 ($\pm 7,65$) | 35,20 | 2,90 |
| <i>A. chambira</i> | Número de racimos por palma | 36 | 3 ($\pm 1,44$) | 6 | 1 |
| | Peso de los frutos por racimo (kg) | 36 | 10,9 ($\pm 5,23$) | 27,24 | 3,31 |
| <i>S. exorrhiza</i> | Número de racimos por palma | 39 | 4 ($\pm 1,19$) | 7 | 2 |
| | Peso de los frutos por racimo (kg) | 50 | 2,3 ($\pm 0,94$) | 4,44 | 0,87 |

Fuente: Elaboración propia

En las actividades de cosecha se requiere mínimo de la participación de cuatro personas, una persona se encarga de hacer el corte del racimo con el trimer y esta debe tener la habilidad de trepar con los pretales cuando se requiera subir hasta cierto punto de la palma, dos personas reciben el racimo en la lona y la otra lo desgrana y lo empaca en la lona o canastilla respectiva. En los sitios en donde se han realizado las labores de aprovechamiento, el desplazamiento desde la casa de la finca hasta el punto de cosecha en el bosque puede tomar entre 15 y 40 minutos, caminando.

En el Asaí (*E. precatória*), el tiempo medio que se emplea en el corte de un racimo es de 3 minutos $(1-8) \pm 2$ y en el desgrane de los frutos 2 minutos $(0,5-7) \pm 1,5$. En Seje (*O. bataua*), el tiempo medio de corte de un racimo es de 13 minutos $(2-25) \pm 4,97$ y de desgrane de los frutos 19 minutos $(10-32) \pm 4,36$. La duración de esta actividad depende del tamaño del racimo y de los frutos y de la cantidad de frutos que tenga.

En una jornada de trabajo de 8 horas, se alcanzan a cosechar entre 30 a 40 racimos de Asaí (*E. precatória*) y entre 15 a 20 racimos de Seje (*O. bataua*), en *A. chambira* se alcanzan a cosechar en promedio 26 racimos y en *S. exorrhiza* 40. Estos rendimientos incluyen el desplazamiento al sitio de cosecha, la identificación de los racimos que son aptos para proceso, los tiempos de corte del racimo (empleando el trimer y los pretales cuando se requiere ascender hasta cierto punto de la palma) y el desgranado de los frutos y su empaque en lonas o canastillas. En algunas situaciones se puede dificultar el acceso a los racimos por la presencia de árboles, ramas y lianas que obstaculizan el corte y caída de los racimos, ocasionando que los frutos se desprendan fácilmente; esto puede generar bajos rendimientos en la jornada por el tiempo que demanda el corte de estos racimos y por la poca cantidad de frutos que se pueden recolectar ante estas dificultades.

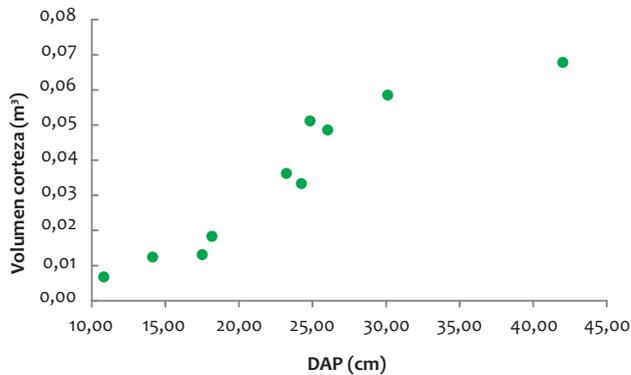
Según el número de racimos que se pueden cosechar en una jornada de trabajo y de acuerdo con el peso promedio de frutos maduros que se pueden recolectar de un racimo (tabla 4), en el Asaí (*E. precatória*) se puede aprovechar un promedio de 113,6 kg de frutos maduros, en Seje (*O. bataua*) 309, 2 kg, en *A. chambira* se puede aprovechar un promedio de 261,56 kg de frutos maduros y en *S. exorrhiza*, 90,8 kg.



Secciones de cortezas

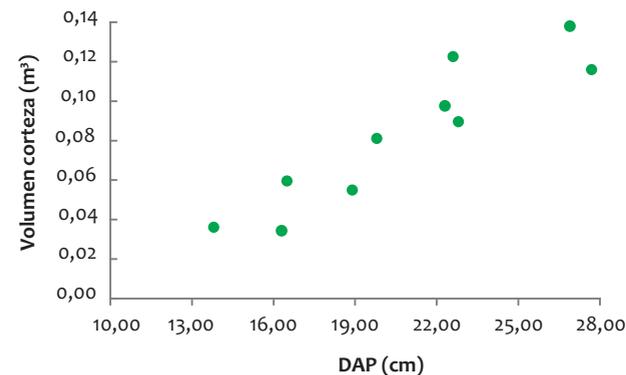
El porcentaje de corteza que se puede obtener de un árbol de *V. elongata* en relación con el volumen de madera es en promedio del 23,33 % ($\pm 3,17$) y en *P. sagotianum* es del 10,99 % ($\pm 1,79$). Los volúmenes más altos se obtienen de los árboles con diámetros mayores (figuras 7 y 8).

Figura 7. Volumen de corteza de *V. elongata* en relación al DAP



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Volumen de corteza de *P. sagotianum* en relación al DAP



Fuente: Elaboración propia

Látex o aceites extraídos del tronco

Al extraer la resina de las especies *V. elongata* y *P. laevis*, de acuerdo con las técnicas y protocolos establecidos, se observó que el escurrimiento por gravedad de la resina disminuye con el tiempo, siendo nulo luego de 1 o 2 horas. Los árboles muestreados que presentaron los mayores diámetros fueron los que escurrieron mayor cantidad de resina (tabla 5).

Tabla 5. Cantidad de resina de corteza colectada en árboles de *V. elongata* y *P. laevis* en relictos de bosque denso alto de tierra firme

| Especie | Individuo | DAP (cm) | Cantidad de resina recolectada (ml) | Tiempo de escurrimiento de la resina (horas) |
|--------------------|-----------|----------|-------------------------------------|--|
| <i>V. elongata</i> | 1 | 16,50 | 1,00 | 0,50 |
| | 2 | 18,90 | 5,00 | 0,67 |
| | 3 | 19,80 | 12,00 | 0,50 |
| | 4 | 22,30 | 38,00 | 0,67 |
| | 5 | 22,60 | 42,00 | 0,75 |
| | 6 | 22,80 | 32,00 | 0,75 |
| | 7 | 26,90 | 106,00 | 1,25 |
| | 8 | 27,70 | 64,00 | 0,75 |
| <i>P. laevis</i> | 1 | 17,10 | 1,80 | 0,50 |
| | 2 | 17,40 | 6,10 | 0,87 |
| | 3 | 18,90 | 7,40 | 1,30 |
| | 4 | 19,60 | 22,50 | 1,90 |
| | 5 | 21,90 | 19,90 | 0,95 |
| | 6 | 27,30 | 45,50 | 1,27 |
| | 7 | 34,20 | 53,00 | 0,80 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Extracción de resina de *V. elongata* (izquierda) y *P. laevis* (derecha) en relictos de bosque denso alto de tierra firme

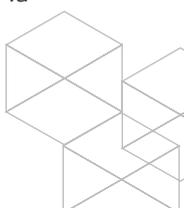


Fuente: Elaboración propia

Criterios y especificaciones técnicas para la cosecha

Frutos y semillas de cualquier tipo de planta

El usuario del bosque puede aprovechar máximo el 75 % de la oferta de las palmas para garantizar la



persistencia de la población (Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia). Se deben cosechar las palmas que tengan tres o más racimos con abundantes frutos grandes y maduros, dejando en cada una el 40 % de los racimos para inducir la reproducción sexual y el mantenimiento de las especies faunísticas que obtengan su alimento de dichas plantas (Resolución 0727 del 2010, Corpoamazonia). Dependiendo de la oferta del recurso y del tipo de aprovechamiento que se pretende hacer sobre el recurso, si es doméstico o persistente, así mismo se establecen los derechos del aprovechamiento y los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de los mismos.

En años de baja producción (información que será proporcionada por los entes reguladores e instituciones científicas), deberá reducirse la intensidad de recolección o aprovechamiento, por lo menos en un 20 %, para favorecer la reproducción sexual. Los planes de manejo deben implementar gradualmente una estrategia de registro de la productividad individual de las plantas cosechadas, que permita lograr un sistema de recolección funcional que concentre los esfuerzos de recolección en las unidades de bosque más productivas, reduciendo recorridos y haciendo los procesos más económicos y eficientes.

Una técnica de cosecha no destructiva que se recomienda, es el corte de los racimos con la ayuda de un cortarramas, también conocido como trimer, desjarretadora, o desgarradora entre otros, el cual consta de una tijera o cabeza podadora que se acopla a unos tubos de aluminio extensibles para poder llegar a la altura de los racimos y realizar el corte (figura 10).

Figura 10. Trimer cortarramas con el que se realiza el corte de los racimos para el aprovechamiento de los frutos de palmas nativas



Fuente: Elaboración propia

Cada tubo tiene 1,1 m de longitud y se pueden añadir los tubos que sean necesarios para llegar a la altura de los racimos. Sin embargo, entre más tubos se añadan al trimer se dificulta más su maniobra; por lo cual se recomienda en caso de que la palma supere los 12 m de altura, trepar hasta cierto punto de la palma o árbol más cercano y desde allí realizar el corte.

Una forma de evitar el deterioro de los frutos por la caída directa del racimo al suelo luego de realizar el corte, es recibirlo en una lona o costal en fibra de polipropileno abierto (figura 11), la cual debe de ser sujeta por al menos dos personas en el momento de la caída, ya que el impacto ocasionado por la altura a la que se encuentran los racimos y el tamaño y peso de los mismos es muy alto. Así, los frutos que se desprenden del racimo alcanzan a caer en la lona, se evitan golpes o magullamientos y se logra aprovechar una mayor cantidad de frutos.



Figura 11. Cosecha de frutos de Asaí (*E. precatória*), se corta el racimo desde el suelo con el trimer y se recibe en una lona plástica



Fuente: Elaboración propia

Otra técnica de cosecha consiste en ascender directamente al racimo o a un árbol cercano a la palma utilizando pretales y realizar el corte con un machete o serrucho para podar ramas. Antes de realizar el corte, se amarra una cuerda al pedúnculo del racimo para poder controlar el descenso del racimo y así evitar golpear los frutos y causar su desprendimiento (figura 12).

Figura 12. Cosecha de frutos de Seje (*O. bataua*) llegando directamente al racimo



Fuente: Elaboración propia

En la región, la mayor producción de frutos maduros se concentra entre los meses de mayo a julio que corresponde a los meses más lluviosos del año (García, 2013), por lo que se recomienda durante este tiempo programar las actividades de cosecha.

En (*E. precatória*), la maduración de los frutos en zonas inundables (en donde la especie es más abundante) empieza un poco más temprano, por lo tanto las jornadas de cosecha se pueden realizar primero en estos sitios entre los meses de abril y mayo. En zonas de tierra firme la producción de frutos se puede extender hasta el mes de agosto y septiembre.

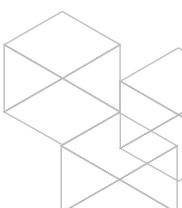
En *O. bataua*, se recomienda planificar las jornadas de cosecha en los picos de maduración que se muestran en la figura 4, esto con el fin de obtener un mejor rendimiento en la actividad, y minimizar los costos y evitar desgastes.

En *A. chambira*, a medida que van madurando los frutos, estos se desprenden rápidamente. Cuando se colecta un racimo en estado maduro, más del 50 % de los frutos ya se han caído. Se recomienda cosechar racimos en estado pintón, para aprovechar una mayor cantidad de frutos que alcanzarán su maduración.

En *S. exorrhiza*, es muy común observar racimos pequeños con frutos pequeños, en muy pocos casos se encuentran racimos grandes cargados de frutos. La cosecha de estos racimos no es tan complicada ya que cortarlos con el trimer es más fácil por su tamaño, sin embargo, los rendimientos en esta especie son más bajos, ya que son frutos poco carnosos.

Cuando se inician las labores de aprovechamiento de frutos de palmas de acuerdo con los picos de producción que se han identificado para las especies, se deben tener en cuenta algunas técnicas para poder identificar el estado de madurez de los racimos y así saber cuáles se pueden cosechar y cuáles no:

- La presencia de frutos maduros en el suelo alrededor de la palma.
- Desprendimiento fácil al tacto del pigmento de color violeta de los frutos de Asaí y Seje cuando están maduros.



- En el Asaí, el peso de los frutos cuando se maduran le otorgan una apariencia caída a las raquillas del racimo.
- Observar desde el suelo con binoculares los estados de madurez de los racimos. Esta técnica no es tan práctica para las especies *E. precatória* y *O. bataua*, ya que desde el suelo diferenciar el color de un fruto en estado verde, pintón o maduro en cada una de sus categorías, no es posible, en la mayoría de los casos, ya que por las condiciones de luz en el ambiente y la altura a la que se encuentran los racimos, los frutos se ven de color oscuro.
- Como la tonalidad de los frutos de *A. chambira* y *S. exorrhiza* es amarilla al madurar, y el tamaño es más grande si se compara con Asaí (*E. precatória*), la identificación del estado de madurez resulta más fácil.
- Cuando se observa con ayuda de los binoculares el desprendimiento de los frutos que caen al suelo, ya sea por el proceso de abscisión que se inicia cuando los frutos se maduran o por el aprovechamiento de los frutos por las especies de fauna. Hay que tener en cuenta que duran-

te las etapas de floración y desarrollo de los frutos también se presenta la caída o aborto de estas estructuras, llegan a la madurez fisiológica, en algunos casos, un porcentaje muy bajo de frutos.

- Bajar una o dos raquillas con el trimer tratando de no causar daños al racimo. Teniendo en cuenta el tamaño de la tijera o cabeza podadora y la dificultad de manejar el trimer cuando los racimos están muy altos, se puede causar desprendimiento de los frutos al tratar de realizar el corte de la raquilla. Otro indicador de que los frutos están maduros es que el ápice de las raquillas esté seco.
- En los casos en donde se llegue directamente al racimo trepando la palma, se identifica el estado de madurez del racimo de acuerdo con las cartas de color de cada una de las especies.

Luego de realizar el corte de los racimos, los frutos deben ser separados de las raquillas, mediante un proceso de desgranado manual (figura 13). Primero se pone el racimo completo dentro de un costal, golpeándolo con fuerza para desprender los frutos de las raquillas y posteriormente se desgranar manualmente aquellos que no se desprendan, para evitar así su dispendiosa recolección.

Figura 13. Desgranado de frutos de Asaí (*E. precatória*), con la participación de productores de la región



Fuente: Elaboración propia



Los frutos desgranados se empaican en bolsas plásticas, lonas de fibra de polipropileno o canastillas plásticas previamente desinfectadas para su posterior transporte al centro de acopio. El empaque más práctico para transportar los frutos cosechados son las lonas en fibra de polipropileno, por su bajo costo y porque se pueden transportar fácilmente en diferentes medios (carro, moto, bicicleta, a pie, etc.). Sin embargo, el empaque más adecuado son las canastillas plásticas, ya que al ser un recipiente fabricado en polietileno de alta densidad, protege el producto contra el daño mecánico y su diseño facilita su manipulación durante el transporte (figura 14).

Figura 14. Formas de empaicar los frutos para llevarlos al centro de acopio o planta de transformación



Fuente: Elaboración propia

Se recomienda cosechar racimos que tengan abundantes frutos, en donde la mayoría se encuentren en estado maduro (>70 %). Los estados de madurez con los que se obtienen pulpas de buena calidad, corresponden a los estados pintón 3 y maduro (Castro et al., 2015).

Se recomienda llevar la fruta el mismo día en que se cosecha al centro de acopio, ya que en el caso del Asaí (*E. precatoria*) los frutos se oxidan muy rápido lo que causa su rápido deterioro. El Seje (*O. bataua*) es un poco más tolerante a esta condición por lo que se puede conservar en un espacio abierto de un día para otro, pero lo recomendable es llevarlo el mismo día al centro de acopio.

No es aconsejable cosechar racimos en un momento de lluvia, esto dificulta la identificación del estado de madurez del racimo, el corte y desgranado de los racimos

y los frutos húmedos son más propensos a deteriorarse desde el momento en que se empaican y se transportan al centro de acopio.

La fruta que llega a la planta, se recibe y se pesa, se clasifica por estados de madurez, se eliminan impurezas y frutos inmaduros, se lava con agua potable y se desinfecta por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio de 200 ppm por 20 minutos, para luego ser congelada hasta el momento de su transformación.

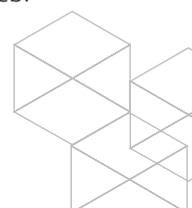
En el caso de los individuos arbóreos, como los frutos se distribuyen por toda la copa, la forma más adecuada de recolección es cortar las ramas con mayor presencia de frutos. Esta actividad se puede realizar con un cortarramas (trimmer) con el objeto de no dañar la planta y los frutos cosechados.

Teniendo en cuenta la altura fustal que es mayor a 8 m en la mayoría de las especies, para llegar a las ramas objeto de cosecha, es necesario ascender con pretales hasta cierta parte del tronco o fuste y desde ahí realizar el corte con el trimmer. Luego en el suelo se procede a desprender las infrutescencias de la rama con una tijera podadora. Los frutos se recolectan en el estado en que se utilizan (de acuerdo con los reportes etnobotánicos), se separan de otros frutos, eliminando aquellos que pueden generar daños.

En esta actividad se requiere de la participación mínima de tres personas: un trepador que asciende por el árbol y realiza el corte, un auxiliar que desde el suelo con ayuda de binoculares orienta al trepador sobre la ubicación de la rama y se encarga de pasar el trimmer, y otra persona que se encarga de desprender los frutos de las ramas que se vayan cosechando.

Estructuras vegetativas que no comprometen la supervivencia de las plantas (follajes)

Para el aprovechamiento de ramas/hojas, la técnica que se emplea es la misma que para coleccionar los frutos (ascenso con pretales y empleo del trimmer). Las hojas a cosechar deben estar sanas, sin síntomas de estrés por insectos, hongos u otro agente que pueda alterar su metabolismo. Las hojas se cosechan completas, las hojas simples y compuestas no se deben separar del peciolo, tampoco se debe cortar la lámina foliar, debi-



do a que se desencadenan reacciones enzimáticas que modifican los componentes de las mismas; por lo que se recomienda, cosechar pequeñas fracciones de ramas delgadas cuando las hojas son simples, y cuando son compuestas se cosecha la hoja completa.

El aprovechamiento de ramas puede ser realizado mediante raleos o corta total de la copa, dependiendo de la intensidad de aprovechamiento, las características vegetativas y la capacidad de regeneración de cada especie.

La cosecha de hojas no debe eliminar los individuos en el proceso y debe ser realizada en árboles que han alcanzado su madurez reproductiva o fisiológica. La cosecha de hojas se debe realizar sobre plantas que tengan suficiente producción, se descartan aquellas en la que la misma sea incipiente. Las plantas a aprovechar deben tener buena condición fitosanitaria (sin herbivoría, sin marchitamientos y sin desgarres), libres de plagas y enfermedades.

La intensidad del aprovechamiento de las hojas, debe dejar un número suficiente de hojas sanas en cada planta para la fotosíntesis, ya que de esta función dependerá la capacidad de crecimiento de nuevas hojas para restitución de las cosechadas. Dejar como mínimo el 25 % del total del follaje de cada planta cosechada cerca a la yema terminal.

La cosecha de hojas debe evitar al máximo el daño a las hojas nuevas, a las yemas apicales y estructuras reproductivas que afectarían negativamente la capacidad de producción y regeneración de nuevos individuos de la especie. El ciclo de rotación o tiempo de rotación entre aprovechamientos sucesivos debe ser suficiente para que la planta produzca hojas nuevas.

Aprovechar como máximo el 75 % de la oferta de las plantas potenciales objeto de cosecha, distribuidas por clases diamétricas, de tal manera que pueda garantizar la persistencia de la población, el incremento de la regeneración natural y el progreso de las fases sucesionales.

Secciones de cortezas

La corteza se obtiene de árboles en pie, trazando sobre una cara del árbol un panel de descortezado a los 1,30

metros del suelo (sección normal), que deberá hacerse como máximo hasta la mitad de la circunferencia de cada árbol. Cada panel tendrá una longitud equivalente a la deseada para obtener las fibras. El descortezado se realiza con machete o cuchillas que permitan realizar cortes finos, retirando cuidadosamente la corteza y aplicar después del aprovechamiento fungicidas para prevenir la presencia de hongos y enfermedades (figura 15).

Figura 15. Descortezado de árboles en pie de las especies priorizadas para investigación fitoquímica



Fuente: Elaboración propia

La corteza se debe aprovechar controladamente porque influye en la vida productiva del árbol. La frecuencia del aprovechamiento se debe programar de tal manera que no supere tres intervenciones por árbol. El segundo panel se traza debajo del primero, y así sucesivamente, trazando paneles hasta llegar a la base del árbol y por la misma cara del árbol.

El descortezado se debe realizar en los períodos húmedos y después de transcurridas algunas horas de la mañana cuando existe menor hidratación y menor presión interna de los vasos para evitar la pérdida de la savia. No se debe hacer el aprovechamiento en períodos de defoliación, refoliación, floración y fructificación, porque es la época que las plantas necesitan de energía, agua y nutrientes para formar nuevos tejidos.



Látex o aceites extraídos del tronco

El aprovechamiento de exudados y resinas se realiza en árboles en pie mediante el sistema de rayado o sangría (figura 16). Lo primero que se realiza es el trazado y apertura del panel a los 1,20 metros del suelo, utilizando una banderola y un punzón o cuchilla de sangría para llevar un control de consumo de corteza. Trazar en cada panel para rayado hasta la mitad de la circunferencia de cada árbol, es decir por una sola cara, y cada panel debe de estar compuesto por 4 o 6 líneas de rayado. Con la cuchilla se hacen incisiones diagonales sobre la corteza, desbastando con cortes finos la corteza hasta llegar a los vasos laticíferos (vasos conductores del látex), para permitir el encaje de la cuchilla de sangría y evitar llegar hasta el cambium (parte interna) para no causar daños irreparables.

Figura 16. Señalización del panel de sangría para el aprovechamiento de látex y resinas de árboles en pie



Fuente: Elaboración propia

El ángulo de corte debe estar entre los 30 a 35°, con la finalidad de tener un drenaje de velocidad media. La dirección que debe tomar el corte en el panel es de izquierda a derecha, debido a que los vasos laticíferos están orientados de derecha a izquierda. Por lo tanto,

al realizar el corte de derecha a izquierda se tiene menor número de tubos laticíferos cortados, por lo que se recomienda realizar el corte del lado contrario a la dirección que siguen los tubos laticíferos (figura 17).

Figura 17. Ángulo y dirección de corte recomendado para un mejor aprovechamiento del látex o resina



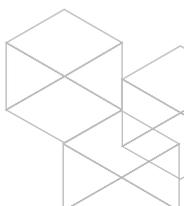
Fuente: Elaboración propia

Para recolectar el látex cosechado, se utiliza una canaleta de aluminio al final de la señalización y se recibe en una vasija plástica que se dispone alrededor del fuste mediante un soporte de alambre galvanizado (figura 18).

Figura 18. Kit que se utiliza para la recepción del látex o resinas de árboles en pie



Fuente: Elaboración propia



Una vez inicia el proceso de sangría en los árboles objeto de aprovechamiento, lo recomendable es no suspender y mantener la frecuencia establecida para acostumbrar al árbol a la producción y estabilización del látex. La frecuencia del rayado por árbol se programa de tal manera que no supere los 100 rayados por año. La frecuencia más utilizada en el rayado de caucho (*Hevea brasiliensis*) es rayar un día y dejar descansar el árbol de dos a tres días, esto permite la estimulación química del árbol y menos desgaste de corteza.

El rayado se inicia a partir de la primera línea superior por un trimestre, posteriormente se avanza hacia la segunda línea y así sucesivamente hasta completar el panel de rayado. Se traza el segundo panel debajo del primero, una vez terminada la producción del primer panel, y así sucesivamente trazando paneles hasta la base del árbol y por la misma cara. El consumo de corteza no debe exceder un mm por rayada y la profundidad de incisión de uno a dos mm (debe sangrarse de uno a 1,5 mm antes del cambium).

El látex se debe recolectar hasta aproximadamente cinco horas después del rayado. El escurrimiento del látex tiene lugar gracias a la presión interna dentro del árbol,

la cual disminuye con el tiempo, es nula en tres a cuatro horas. La sangría debe iniciarse en las horas de la mañana, preferiblemente antes de salir el sol, cuando las plantas han estado en proceso de respiración y no han iniciado la fotosíntesis. En la medida que avanza el día, normalmente aumenta la transpiración de las plantas, lo que ocasiona una reducción en la producción de látex.

Es importante tener en cuenta medidas de higiene para evitar la caída de corteza del árbol, insectos, hojas y otros a la taza de recolección ya que estos inciden en la calidad del látex. Se recomienda aplicar después del rayado fungicidas para prevenir la presencia de patógenos, hongos y enfermedades.

No se debe rayar en los períodos de defoliación, refoiliación, floración y fructificación, porque es la época en que las plantas necesitan de energía, agua y nutrientes para formar nuevos tejidos. El rayado se debe realizar al final de un período seco y en horas de la mañana cuando la temperatura es más baja, existe mejor hidratación y mayor presión interna de los vasos laticíferos. No se deben rayar árboles jóvenes, porque la corteza es muy delgada y se adhiere fácilmente al cambium, lo que compromete la producción futura.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con las especies y productos que se priorizaron, y con los lineamientos técnico-científicos para la elaboración de los protocolos para el aprovechamiento de productos forestales no maderables según la reglamentación nacional, se requiere dar continuidad a los procesos de investigación relacionados con la caracterización biológica y ecológica de las especies, las formas de cosecha, y las buenas prácticas de manejo de las especies y los ecosistemas.

En una etapa de la investigación más avanzada y sobre las especies con mayor potencial de uso, es necesario realizar un seguimiento en el tiempo para evaluar el impacto del aprovechamiento o de las cosechas experimentales de cada una de las categorías

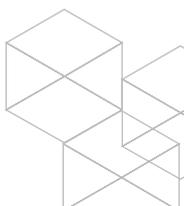
de productos seleccionadas y a partir de esta información poder definir ajustes a los volúmenes, tasas de cosecha y/o prácticas de manejo establecidas.

También es necesario adelantar estudios fenológicos de las especies priorizadas diferentes a las palmas, para determinar la duración del ciclo reproductivo de las especies, el índice de actividad fenológica a nivel poblacional y el porcentaje de intensidad de los fenómenos vegetativos y reproductivos a nivel de la planta; esto con la finalidad, de determinar la producción de frutos a lo largo del año, evaluar la regeneración natural en sitios con y sin cosecha y adelantar estudios de propagación de estas especies en el vivero.



Bibliografía

- Cárdenas, D.** & Ramírez, J. (2004). Plantas útiles y su incorporación a los sistemas productivos del departamento del Guaviare. *Caldasia* 26 (1): 95-110.
- Carvajal, F.,** Posada; F. Molina; L. C. Delgado; A. Acero; L. E. Araújo; O. & Rodríguez, F. (1979). Bosques: Inventario forestal. En: PRORADAM-Proyecto radargramétrico del Amazonas, la Amazonia colombiana y sus recursos. Bogotá. 229 p.
- Castaño, N.** Cárdenas; D. & Otavo, E. (2007). *Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, CORPOAMAZONIA. 266 p.
- Castro, S.** (2014). *Plan de manejo de Asaí 2015-2020*. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. 63 p.
- Cochran, W. G.** (1977). *Sampling techniques*. (3rd ed.). New York: Wiley
- Corporación** para el Desarrollo Sostenible del Sur del Amazonas, Corpoamazonia. (2010). *Resolución 0727 de julio 19 de 2010. Estatuto de flora silvestre ‘aprovechamiento de recursos forestales no maderables’*. Recuperado de <https://vdocuments.site/estatuto-no-maderables.html>
- ElSira-GIZ.** (2012). *Aprovechamiento del caucho silvestre por las comunidades nativas en la selva amazónica del Perú-ficha técnica N° 3*. Lima: Proyecto Biodiversidad y Cambio Climático en la Reserva Comunal ‘El Sira’. 20 p.
- Fournier, L. A.** (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24; 422-423.
- Galeano, G.** & Bernal, R. (2010). *Palmas de Colombia. Guía de campo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. 688 p.
- Gallego, K.** (2016). *Resultados parciales del análisis fitoquímico preliminar de Virola elongata, Iryanthera laevis, Protium sagotianum y Crespidospermum rhoifolium*. Informe de avance. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 18 p.
- García, A.** (2017). *Factores biológicos determinantes en la oferta de PNMB, en relictos de bosque del departamento del Guaviare*. Informe técnico. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 18 p.
- García, A.** (2013). *Fenología reproductiva de tres especies de palmas en áreas boscosas de la estación experimental El Trueno-SINCHI, departamento del Guaviare, Amazonia colombiana*. Informe técnico. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- García, L.** (2015). *Identificación de estados de madurez de racimos y frutos de las palmas *Astrocaryum chambira* y *Socratea exorrhiza* en el departamento del Guaviare*. Informe técnico. San José del Guaviare: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI,
- García, L.** & Carrillo, M. (2015). *Caracterización del proceso de maduración de frutos de palmas americanas *Astrocaryum chambira* y *Socratea exorrhiza* para establecer bases tecnológicas de manejo poscosecha*. Informe técnico. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- González, D.V.** (2003). *Los Productos Naturales No Maderables (PNNM): Estado del arte de la investigación y otros aspectos*. Biocomercio Sostenible. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos ‘Alexander von Humboldt’. 77p.
- Instituto** Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2007). *Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 266 p.
- López, R.** Navarro; J. Montero; I. Amaya; K. Rodríguez; M. & Polania A. (2006). *Manual de identificación de especies no maderables del corregimiento de Tarapacá, Colombia*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. 218 p.
- López, R.** & Montero, M. (2005). *Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 128 p.



- López, R.** & Cárdenas, D. (2002). *Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Bogotá D.C. 100 p.
- Martín-López;** B. Gonzáles; J.A. Vilarly; S. P. Montes; C. García-Llorente; M. Palomo; I. & Aguado, M. (2012). *Guía Docente. Ciencias de la sostenibilidad*. Bogotá: Instituto Humboldt, Universidad del Magdalena, Universidad Autónoma de Madrid. (ISBN: 978-84-695-4527-0).
- Mesa, L.** & Galeano, G. (2013). Usos de las palmas en la Amazonia colombiana. *Caldasia* 35; 351-369.
- Ministerio** de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2012). *Política Nacional de Gestión Integral para la Conservación de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- República** de Colombia. (1996). *Decreto 1791 de 1996. Por el cual se regula el aprovechamiento forestal en el país*. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791_1996.pdf/308a-3f2c-bb6d-48f2-81e0-cdoc2d983e3f
- Romhan** de la Vega; C. F. & Ramírez, H. (2010). *Dendrometría*. Universidad Autónoma de Chapingo, División de ciencias forestales. México. 312 p.
- Torres, M. C.** & Casas, L. (Eds.). (2014). *Protocolos de aprovechamiento para flora silvestre no maderable. Metodología, estudios de caso y recomendaciones técnicas*. Bogotá: Fondo Biocomercio - Fundación Natura. 141 p.

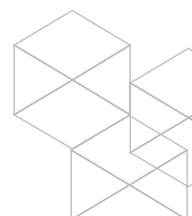


5.

•

Perfil de Uso Fitoquímico y de Compuestos en Cinco Especies de Plantas Presentes en Relictos de Bosque del Departamento del Guaviare

Karen Gallego, Marcela Carrillo, Luis Mosquera,
Sandra Castro y Jaime Barrera



Resumen

Se realizó la caracterización fitoquímica y cuantificación de compuestos más representativos, de las especies *Virola elongata* (Sangretoro), *Protium sagotianum* (Anime), *Crepidosperrum rhoifolium* (Coquindillo), *Iryanthera laevis* (Mamito) y *Dacryodes cf. Negrensis* (Cupé) colectadas en relictos de bosques del departamento de Guaviare, para identificar su potencial de uso en los sectores cosmético e ingredientes naturales. Se identificaron polifenoles y cumarinas en la corteza, resina y frutos de *Virola elongata*, hojas de *Iryanthera laevis* y *Crepidosperrum rhoifolium*. Se encontraron compuestos carotenoides en corteza, resina y frutos de *Virola elongata* y alcaloides en la mayoría de las especies excepto en *Dacryodes cf. Negrensis* y resina de *Virola elongata*, lo que indica una posible actividad biológica como citotóxicos y/o antimicrobianos. Se identificó la presencia de saponinas en *Crepidosperrum rhoifolium*. Los resultados permiten identificar un alto potencial de aprovechamiento principalmente para *Virola elongata*, por el contenido (23,36 %) de extracto etéreo en sus frutos, buenos contenidos de polifenoles totales en corteza y frutos ($289,41 \pm 0,22$; $187,36 \pm 0,66$) y de flavonoides totales en hojas y resinas ($51,98 \pm 0,85$; $73,22 \pm 0,78$), así como un alto rendimiento (1,2 %) de aceites esenciales en hojas. Esta caracterización preliminar, demuestra el potencial de uso de estas especies, debido a presencia de compuestos antioxidantes que tienen la capacidad de capturar los radicales libres tóxicos de las células, de extracto etéreo, aceites esenciales y de compuestos con una posible actividad antimicrobiana, los cuales pueden ser utilizados para la extracción de ingredientes naturales biológicamente activos para su uso en el desarrollo de productos cosméticos, cosmeceúticos y/o biocosméticos.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, ingredientes naturales, análisis fitoquímico, antioxidantes, especies amazónicas

Introducción

El departamento del Guaviare representa una de las zonas con mayor deforestación en la Amazonia colombiana, con una pérdida de bosque de 271.050,13 ha entre 2002-2014 (SIATAC, 2016), resultado de procesos de

intervención inadecuados que han generado la fragmentación del paisaje. A pesar de ello, aún se encuentran pequeños parches o relictos de bosque conservados, los cuales guardan un potencial que ofrece, entre otros, bienes que pueden ser aprovechados de manera sostenible para su conservación y el desarrollo de alternativas productivas sostenibles para el beneficio económico, social y ambiental de las comunidades del departamento.

Familias como la Myristicaceae y la Burceraceae tienen una alta presencia en estas zonas, conocidas por poseer diversas actividades biológicas por lo que se considera de gran interés el reconocimiento de su perfil fitoquímico, que permita la innovación en productos a partir los componentes que se encuentren presentes, principalmente para el desarrollo de nuevos ingredientes naturales para el sector cosmético.

La familia Myristicaceae se encuentra representada por 21 géneros con aproximadamente 500 especies distribuidas en América, Asia y África. Entre los géneros nativos en América más representativos en la selva amazónica se encuentran *Iryanthera* y *Virola* (80 %). Estas especies se caracterizan por árboles con frutos comestibles, uso en aplicaciones medicinales para curar infecciones en la piel (Veiga et al., 2017) y utilización de la madera a nivel artesanal e industrial. Investigaciones fitoquímicas identifican la presencia de lignoides, alcaloides triptamínicos y β -carbólicos, γ -lactonas y flavonoides como flavonas e isoflavonas, virolanos, virolanoles, y dihidrochalconas y ácidos grasos, estilbenos y terpenos, así como, neolignanós a los que se les atribuyen actividades biológicas como antiinflamatoria, antifúngica, neuroléptico, anti-hepatotóxico, anticáncer y anti-PAF (Bernal & Cuca 2007; Lopes et al., 1998; Valderrama 2000, Trujillo, et al., 2006; Barata et al., 2000).

Dentro de esta familia, se encuentra la especie *Virola elongata*, conocida comúnmente como falsa sangretoro o cumala blanca. De esta especie se han aislado compuestos derivados de triptamina, neolignanós y lignanos, componentes biológicamente activos; se reportan como los principales constituyentes de la corteza, N,N-dimetil-triptamina y 5-metoxi-N,N-dimetil-triptamina y sitosterol, estilbenos, lignanos y los neolignanós eusiderin, viro-



longin (Macrae & Towers, 1985). Su madera contiene flavonoides como virolanol, virolanol B, virolanol C y (-)-fisetidinol y las cubiertas de las semillas de la fruta presentan lignanos y arilalcanonas (Kato, M. J. et al., 1990).

El género *Iryanthera*, segundo en abundancia en esta familia, presenta dieciséis especies clasificadas en el Herbario Nacional Colombiano (Martínez & Cuca, 1989). Para este género, se reporta la presencia de dihidrochalconas (Martínez & Cuca, 1989), neolignanos y flavonoides (Dulce, et al., 1994) en madera y frutos. A este género pertenece la especie *Iryanthera laevis*, conocida comúnmente como otoba, kimo o mamita. En sus frutos y madera se reportada la presencia de flavonoides y dihidrochalconas, incluyendo derivados del nuevo compuesto 2',4',6'-trihydroxy-4-methoxy-and 3'(7''-allylphenyl)-2',4',4'-trihydroxy-4,6'-dimethoxy (Garzón et al., 1987; Filho & Gottlieb, 1980; Conserva et al., 1990). El extracto bencénico de la corteza presenta cuatro dihidrochalconas: 2,4-dihidroxi-4,6'-dimetoxidihidrochalcona, 2,4-dihidroxi-3,4-metilenodioxi-6-metoxidihidrochalcona, 2,4-dihidroxi-3,4,6-trimetoxidihidrochalcona y 3-(1,4-di-phidroxifenil-2,3-dimetilbutil)-2,4-dihidroxi-4,6-dimetoxidihidrochalcona (Martínez & Cuca, 1989).

Por otro lado, la familia Burseraceae, presenta la mayor abundancia en la Amazonia, aunque poco conocida químicamente, sus especies se caracterizan por la exudación de resinas, las cuales son utilizadas por las poblaciones para diversos fines medicinales, entre sus usos, el más conocido es como antiinflamatorio (Islam, et al., 2014). *Protium* es el género principal de la familia y está distribuido ampliamente en Suramérica, especialmente en la región Amazónica y comprende cerca de 135 especies. Las resinas, aceites esenciales y extractos crudos de hojas, cortezas y tallos de especies del género han sido estudiados para valorar su potencial farmacológico, presentan actividades antiinflamatorias, antinociceptiva, analgésica, expectorante, antitumoral, repelente, acaricida, antimalárica y como protector gástrico y hepático (Tafurt-García & Muñoz-Acevedo, 2012; Islam et al., 2014). En cuanto a la composición química, los lignanos de tipo dibencilbutirolactona y arilnaftaleno, triterpenos de la serie oleanana y euphana, son conocidos por ser producidos en este género (Siani, et al., 1998).

Entre esta familia, se encuentra la especie *Protium sagotianum* comúnmente conocida como anime o copal, la información fitoquímica para esta especie es muy limitada, estudios realizados por Courtois, et al. (2009) reportan la presencia en hojas y corteza de γ -cadineno, compuesto perteneciente a los sesquiterpenos bicíclicos, que son un conjunto de compuestos de 15 carbonos, constituyentes habituales de los aceites esenciales vegetales, los cuales pueden intervenir en las propiedades farmacológicas atribuidas a estas fracciones volátiles (Vanilla, 2015).

Las especies de *Dacryodes* pertenecen a la familia Burseraceae, son árboles perennes con frutos carnosos, muchas de estas están subutilizadas, pero se aplican ampliamente en la medicina popular tradicional contra la malaria, anemia, fiebre, dolores de cabeza y enfermedades de la piel (Hong et al., 2014; Tee et al., 2017). Para las especies *Dacryodes CF negrensis* y *Crepidospermum rhoifolium*, no se tienen reportes de estudios previos.

Materiales y métodos

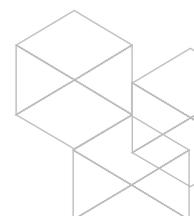
Obtención del extracto vegetal

El material vegetal colectado en los municipios de Calamar, El Retorno y San José del Guaviare en el departamento de Guaviare, fue ingresado al herbario amazónico COAH para su determinación botánica y finalmente deshidratado con flujo de aire a temperatura ambiente hasta peso constante, en un horno de convección forzada. 200 g del material seco y macerado fueron sometidos a extracción con etanol (EtOH) al 98 % durante cinco días, y posteriormente concentrados a presión reducida (rotoevaporador Heidolph), para obtener el extracto crudo utilizado para su posterior análisis.

Se obtuvieron cuatro fracciones de diferentes polaridades, se disolvieron cuatro muestras de 0,5 g del extracto crudo en alcohol etílico, ácido clorhídrico HCl al 5 %, agua destilada y cloroformo y posteriormente se filtraron.

Análisis fitoquímico preliminar

Se realizaron pruebas de precipitación y coloración a los extractos obtenidos siguiendo la metodología descrita por Jara (2013).



Determinación de la capacidad antioxidante

Se evaluó la actividad antioxidante in vitro con los métodos DPPH y ABTS de acuerdo con las metodologías descritas por Doroteo, et al. (2012).

Cuantificación de carotenoides totales

Se cuantificó el contenido de carotenoides totales por el método espectrofotométrico descrito por Rodríguez-Bernaldo de Quirós y Costa (2006) en un espectrofotómetro marca Thermo evolution 60S.

Cuantificación de polifenoles y flavonoides totales

El contenido de polifenoles y flavonoides totales fue evaluado mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y

cloruro de aluminio ($AlCl_3$) descritos por Ainsworth y Gillespie (2007) y Cicco, Lanorte et al. (2009), en un espectrofotómetro marca Thermo evolution 60S.

Determinación del extracto etéreo

Para la determinación del contenido de extracto etéreo se utilizó el método oficial de análisis AOAC 945.16.

Resultados

Análisis fitoquímico preliminar

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 1 y 2, indicando la presencia (+) o ausencia (-) de metabolitos secundarios en los extractos evaluados de las especies.

Tabla 1. Resultados del análisis fitoquímico preliminar del extracto vegetal de corteza (Ve-c), hojas (Ve-h), frutos (Ve-f) y resina (Ve-r) de *Virola elongata*; hojas de *Protium sagotianum* (Ps-h), *Dacryodes CF negrensis* (Dn-h), y *Crepidospermum rhoifolium* (Cr-h)

| Extractos | Metabolitos | Código de la especie | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Vi-h | Vi-c | Vi-f | Vi-r | Pr-h | Dn-h | Cr-h |
| Etanólico | Flavonoides | - | + | + | + | - | - | + |
| Etanólico | Leucoantocianidinas | - | + | + | + | - | - | + |
| Etanólico | Taninos | + | + | + | + | + | + | + |
| Etanólico | Cumarinas | + | + | + | + | - | + | + |
| Etanólico | Quinonas | - | - | + | - | + | - | + |
| Etanólico | Cardiotónicos y sesquiterpenlactonas | - | + | + | + | - | + | + |
| Acuoso | Saponinas | - | - | - | - | - | - | - |
| Clorofórmico | Esteroles y/o esteroides | + | - | - | - | + | - | + |
| Clorofórmico | Carotenoides | - | + | + | + | - | - | - |
| Ácido | Alcaloides | + | + | + | - | + | - | + |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 2. Resultados del análisis fitoquímico preliminar del extracto vegetal de *Iryanthera laevis*: hojas (Il-h), exocarpo, mesocarpo y semilla de frutos en estados maduro (Me), (Mm) (Ms), pintón (Pe), (Ps) y verde (Ve), (Vm), (Vs)

| Extractos | Metabolitos | Código de la especie | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|----------------------|-------------|----|----|--------------|----|--------------|----|----|
| | | Il-h | Fruto verde | | | Fruto pintón | | Fruto maduro | | |
| | | | Ex | Me | Se | Ex | Se | Ex | Me | Se |
| Etanólico | Flavonoides | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Etanólico | Leucoantocianidinas | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Etanólico | Taninos | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Etanólico | Cumarinas | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Etanólico | Quinonas | + | - | + | - | - | - | + | + | - |
| Etanólico | Cardiotónicos y sesquiterpen-lactonas | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Acuoso | Saponinas | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Clorofórmico | Esteroles y/o esteroides | + | + | + | - | + | - | + | + | - |
| Clorofórmico | Carotenoides | - | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Ácido | Alcaloides | + | - | - | - | + | + | - | + | - |

Fuente: Elaboración propia

Pruebas bioquímicas

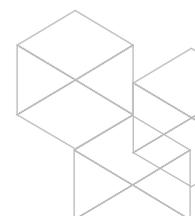
Los resultados de la actividad antioxidante DPPH y ABTS expresados como concentración inhibitoria media (IC₅₀) y TEAC (troloxequivalent antioxidant concentration), concentración de polifenoles, flavonoides y carotenoides en el extracto crudo se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de pruebas bioquímicas* realizadas al extracto crudo de las hojas *Iryanthera laevis* (Il-h), hojas de *Protium sagotianum* (Ps-h), *Dacryodes CF negrensis* (Dn-h), y *Crepidospermum rhoifolium* (Cr-h) y corteza (Ve-c), hojas (Ve-h), frutos (Ve-f) y resina (Ve-r) de *Virola elongata*

| Código de la especie | Polifenoles totales (mg EAG/g) | Flavonoides totales (mg EQ/g) | ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE | | | | Carotenoides Tot. (mg/g) |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| | | | Método DPPH | | Método ABTS | | |
| | | | IC ₅₀ (µg/mL) | µmol TE/g | IC ₅₀ (µg/mL) | µmol TE/g | |
| Il-h | 87,73 ± 0,56 | 38,64 ± 0,16 | 154,42 | 121,42 ± 0,20 | 49,65 | 88,33 ± 0,14 | ND |
| Ps-h | 113,51 ± 0,77 | 50,06 ± 0,47 | 70,76 | 164,94 ± 0,10 | 42,00 | 88,49 ± 0,05 | ND |
| Ve-h | 76,23 ± 0,39 | 51,98 ± 0,85 | 88,09 | 162,20 ± 0,10 | 56,17 | 88,69 ± 0,05 | ND |
| Ve-c | 289,41 ± 0,22 | 35,29 ± 0,24 | 42,53 | 166,10 ± 0,30 | 14,66 | 89,18 ± 0,05 | 0,382 ± 0,01 |
| Ve-r | 129,83 ± 0,66 | 73,22 ± 0,78 | 71,44 | 161,88 ± 0,08 | 51,28 | 88,91 ± 0,07 | 0,019 ± 0,02 |
| Ve-f | 187,36 ± 0,66 | 53,22 ± 0,42 | 63,96 | 159,10 ± 0,68 | 35,8 | 89,68 ± 0,07 | 0,418 ± 0,01 |
| Dn-h | 160,16 ± 2,92 | 88,33 ± 15 | 46,78 | 168,18 ± 0,26 | 15,76 | 89,56 ± 0,75 | ND |
| Cr-h | 217,21 ± 0,22 | 38,00 ± 0,40 | 65,40 | 163,71 ± 0,10 | 38,97 | 99,65 ± 0,04 | ND |

*Valores reportados como la media ± SD (n=3)

Fuente: Elaboración propia



Aceites fijos y esenciales

Presencia de aceites fijos y esenciales fue identificada únicamente para la especie *V. elongata* en frutos y hojas respectivamente. El contenido de lípidos determinado como extracto etéreo fue de 23,36 % en los frutos maduros. El rendimiento de aceites esenciales en hojas por arrastre por vapor fue de 1,2 %

Discusión

Flavonoides

El análisis fitoquímico preliminar de los extractos crudos permitió identificar la presencia de flavonoides en la corteza, resina y frutos de *V. elongata*, hojas y frutos de *I. laevis* y hojas de *C. rhoifolium* (tablas 1 y 2). Estos compuestos son muy característicos de los géneros *Virola* e *Iryanthera*, algunos estudios (Valderrama, 2000; de Villiers, Venter and Pasch, 2015) reportan la presencia de chalconas, flavanonas, flavonas, dihidroflavonoles, flavonoles, flavanos, flavan-3-oles, 1,3-diarilpropanos (virolanes), 1,3-diaril-2-propanoles (virolanoles), dihidrochalconas, isoflavonas y pterocarpanos en la madera y/o hojas de diferentes especies de estos géneros. No se encontraron reportes de la presencia de flavonoides en el género *Crepidospermun*.

En las especies *D. negrensis* y *P. sagotianum* no se encontraron este tipo de compuestos. La presencia de estos compuestos ha sido reportada para ambos géneros por otros autores, Tee et al. (2014) identifican la presencia de compuestos flavonoides y antocianinas en especies *Dacryodes*, asocia a estas actividades antioxidantes, antibacterianas y anticancerígenas. Por otro lado, en el pericarpio, raíces, ramas, corteza y hojas de *P. serratum* Tanamatayarat (2016) reporta la presencia de flavonoides como la benzo- γ -pirona.

En cuanto al contenido de flavonoides, *V. elongata* presentó la mayor concentración en la corteza, seguida de las hojas de *C. rhoifolium*, hojas de *D. negrensis* y hojas de *P. sagotianum*, lo cual coincide con la capacidad antioxidante identificada para estas especies (tabla 3).

Los compuestos flavonoides exhiben diversas actividades biológicas, algunas de ellas de mayor importancia para la cosmética o biocosmética, como la actividad

antioxidante debido a que en su estructura química contienen un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición lo que les confiere una gran actividad biológica (Martínez-Flórez et al., 2002).

Estudios reportados por diversos autores (Stevanato, Bertelle and Fabris, 2014; Costa et al., 2015; Radice et al., 2016) destacan algunos flavonoides como la quercetina y el kaempferol por su actividad fotoprotectora frente a la radiación UVA y la apigenina y el kaempferol por su actividad fotoprotectora frente a rayos UVB. Esto se explica porque los flavonoides cumplen la función de proteger a las plantas de la radiación solar UV, disminuyen el daño oxidativo causado por pequeñas longitudes de onda solares y reducen el riesgo generación de especies reactivas derivadas del oxígeno (ROS) (Stevanato et al., 2014). Algunos estudios (Catarino et al., 2016) muestran una acción antiinflamatoria puesto que están implicados en la inhibición de la actividad de varios mediadores bioquímicos proinflamatorios, además de interactuar con factores de transcripción y vías de señalización. Algunos compuestos fenólicos también tienen una fuerte influencia en acelerar la formación de fibrillas de colágeno, en especial aquellas moléculas pequeñas y con menos grupos hidroxilo (flavona y kaempferol) (Kim et al., 2017). Estas fibrillas se encuentran en la piel y en otros órganos y les otorga la capacidad de estiramiento con resistencia y flexibilidad. De acuerdo con lo mencionado, este tipo de compuestos tiene una potencial aplicación en formulaciones dermocosméticas, ya sea como ungüentos o cremas que se empleen de día como protectores solares o de noche como regeneradores de la piel.

Taninos

Compuestos taninos fueron identificados en cada una de partes analizadas de todas las especies estudiadas. La especie *D. negrensis*, presenta alta actividad antioxidante que puede estar relacionada con la presencia de estos compuestos, así como, de cumarinas (tabla 1 y 3). Aunque para esta especie no se encuentran reportes de estudios fitoquímicos, se identificó que para *D. klaineana*, estudios realizados por Feuya Tchouya et al. (2015) reportan la presencia de taninos.

Los taninos son un grupo importante de metabolitos secundarios estables y con variadas estructuras químicas,



clasificados como hidrolizables, complejos y proantocianidinas (Sieniawska & Baj, 2017). Son utilizados como tintes antioxidantes debido a sus propiedades antimicrobianas (toxicidad frente a los microorganismos) (Dos Santos *et al.*, 2017). Investigaciones en *P. serratum* reportan taninos condensados en corteza, raíces, frutos, ramas y hojas. Los taninos también se usan como agentes antitusivos, astringentes y antitumorales (Tanamatayarat, 2016). Estos compuestos tienen una de las funciones más importantes en la dermocosmética, ya que presentan efecto cicatrizante. Los taninos actúan sobre los radicales libres y promueven la cicatrización debido a sus propiedades astringentes y antimicrobianas como reporta (Herrera *et al.*, 2014), también permiten mantener condiciones de higiene de las formulaciones, puesto que estos compuestos forman complejos con proteínas a través de puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y por formación de enlaces covalentes, son capaces de inactivar adhesinas y enzimas bacterianas (Souza *et al.*, 2007) Estas características los hacen adecuados para formulaciones tópicas heterodispersas.

Carotenoides

Compuestos carotenoides fueron identificados en frutos maduros *V. elongata* y frutos de (tabla 1 y 2), pero solo se logró cuantificar en la primera especie. La presencia de este compuesto en frutos de virola, así como de flavonoides y taninos sustenta la actividad antioxidante encontrada (tabla 3). Hay más de 600 carotenoides conocidos que se pueden clasificar en dos grupos, las xantofilas (originalmente conocidas como filoxantinas) y los carotenos, incluidos β -caroteno y licopeno.

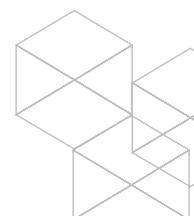
A los carotenoides se asocia actividad fotoprotectora, (Jáuregui, Carrillo & Romo, 2011) señalan que el β -caroteno protege a la piel del riesgo de cáncer como consecuencia de la radiación UV, ya que inhibe a las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y al oxígeno singulete producido por la peroxidación lipídica en los liposomas y en los sistemas biológicos, actuando como fotoprotector e inhibiendo las reacciones fotoquímicas en la epidermis que involucran al oxígeno singulete y a radicales de oxígeno generados por la exposición UV. Los carotenoides presentan actividad antioxidante y son considerados precursores de la vitamina A.

Los antioxidantes son moléculas capaces de oxidarse antes o en lugar de otras moléculas, interactúan con los radicales libres y finalizan una reacción en cadena antes de que cause daño a las moléculas vitales, por lo cual son compuestos importantes contra el estrés oxidativo y muy útiles para disminuir sus efectos sobre la piel, como el envejecimiento extrínseco, relacionado con factores externos como contaminación ambiental, radiación UV, microorganismos patógenos, entre otros (Costa & Santos, 2017; KumarSaini & Young-SooKeum, 2018).

Cumarinas

Las cumarinas (benzo- α -pirona) son sólidos cristalinos blancos muy utilizados en la industria de las fragancias como potenciadores y estabilizadores (Garrard, 2014). Paul Parquet desarrolló una fragancia que fue utilizada en la producción de perfumes y jabones a base de aceite de bergamota y cumarinas sintéticas. Esta formulación fue establecida como marco histórico en la industria de la perfumería, pues hasta el momento nunca habían sido utilizados aromatizantes sintéticos (Clark, 2006). Sin embargo, se ha identificado una relación entre las cumarinas y el desarrollo de hepatotoxicidad y desarrollo de tumores observados en animales de laboratorio expuestos a este compuesto (Abraham *et al.*, 2010), por esta razón en 1954 la FDA (*food and drug administration*) prohibió su utilización en la industria alimentaria en los Estados Unidos y en 1988 fue impuesto en la Unión Europea, por medio de la derivativa 88/388/EEC, un límite de 2mg/kg de cumarina en todos los tipos de comida y bebidas (Dias, 2015). Estas fueron identificadas en todas las partes de las especies estudiadas a excepción de las hojas de *P. sagotianum*.

La presencia de estos compuestos se reporta en algunas Burseraceae (Berenbaum, 1991) como *Protium heptaphyllum* y *Protium opacum* Swart (Cumarolignoide procina) (Almeida *et al.*, 2002); pero no se han encontrado reportes en Myristicaceae. El uso de estos extractos en formulaciones cosméticas como jabones y perfumes, no presenta un peligro como su homólogo sintético, ya que su concentración no supera el límite establecido por la Comisión Europea, sin embargo, se debe establecer si su efecto se mantiene en cuanto a la fijación del aroma. Las ventajas de estos compuestos en los extractos de matrices vegetales son amplias, debido a su poder an-



tioxidante, actividad antiinflamatoria, antimicrobiana y anticoagulante.

Quinonas

Las quinonas se encontraron en los frutos de *V. elongata* y en hojas de *P. sagotianum* y *C. rhoifolium* y hojas, exocarpo y mesocarpo de frutos maduros y mesocarpo de frutos verdes de *I. laevis*. Estos compuestos son una clase de intermedios toxicológicos que pueden generar efectos peligrosos en variedad de organismos, usados comúnmente en la producción de hidroquinona (HQ) (Devi and Mehendale, 2014), como agente despigmentante, tintes para el cabello y tratamientos para las uñas, identificado como seguro en concentraciones inferiores a 1 % en formulaciones de uso discontinuo y breve y seguido de lavado de acuerdo con la revisión de uso de ingredientes cosméticos de Estados Unidos (W.Z. de Oliveira *et al.*, 2007; Matsumoto *et al.*, 2016). La HQ se encuentra prohibida y/o restringida en algunos países, pero es un ingrediente de libre uso en Japón, por lo cual Matsumoto *et al.* (2016), evaluaron el riesgo de efectos sistémicos de HQ en ratas, estimando el margen de exposición MOE 559 (0,017 mg / kg-bw / día en uso apropiado) como un rango seguro para el consumidor. Al igual que las cumarinas su uso ha sido restringido por la generación de problemas a la salud relacionados con hipersensibilidad, toxicidad, carcinogénesis, entre otros, por su alta absorción en la piel (Matsumoto *et al.*, 2016), no obstante, este control esta direccionado a compuestos de síntesis química, usados prolongadamente. Aún se encuentra en estudio potenciales usos farmacológicos y terapéuticos como agentes antioxidantes, microbicidas y antitumorales, ya que las quinonas representan una amplia familia, como las naftoquinonas, (vitaminas del tipo K) poseen acciones controladoras de coagulación en los seres vivos (E Silva, Ferreira & Souza, 2003).

Cardiotónicos y sesquiterpentactonas

Cardiotónicos y sesquiterpentactonas fueron identificados en la corteza, frutos y resina de *V. elongata*, hojas de *D. negrensis* y *C. rhoifolium* y todas las partes estudiadas de *I. laevis*. Los cardiotónicos son los responsables de incrementar el poder de contracción del miocardio, y son ampliamente estudiados, tradicionalmente se ha referido a un grupo denominado glucosidos cardiotónicos, estos son usados en los tratamientos de la insuficiencia cardíaca congestiva o las arritmias cardíacas median-

te la inhibición de la bomba de Na⁺/K⁺. Los glucósidos cardíacos se extraen del material vegetal. Los agentes cardiotónicos a veces se llaman fármacos inotrópicos positivos, es decir, sustancias que mejoran la fuerza de las contracciones musculares y, en este caso, las que aumentan la fuerza de la contracción del miocardio (El-sevier, 2016).

Esteroles y esteroides

Se encontraron esteroles y esteroides en hojas de *V. elongata*, *C. rhoifolium* y *D. Negrensis*, hojas, exocarpo y mesocarpo en frutos verdes y maduros, exocarpo pinto de *I. laevis*. A los esteroides se asocian actividades biológicas como anti-inflamatorios y antifúngicos (Tanamatayarat, 2016). Hoy en día existen una gran variedad de formulaciones tópicas empleadas en dermatología para tratar enfermedades inflamatorias de la piel que usan hidrocortisona, también se han convertido en el tratamiento de primera línea en muchas patologías debido a sus efectos antiinflamatorios, inmunosupresores, antiproflácticos y vasoconstrictores (Wolosky & Ordiales, 2015).

Alcaloides

Se identificaron compuestos alcaloides en hojas, corteza y frutos de *V. elongata*, hojas de *C. rhoifolium*, *P. sagotianum* y hojas, exocarpo de frutos pintones y mesocarpo de frutos maduros de *I. laevis*. Los alcaloides son moléculas orgánicas complejas que contienen un anillo de nitrógeno heterocíclico; tienen aplicaciones como neurotransmisores, son directamente beneficiosos para aplicaciones medicinales, mientras que otros son tóxicos y potencialmente peligrosos para los humanos (Murphy, 2016; Wink, 2016). Estudios realizados por Kawanishi *et al.* (1985) y Veiga, *et al.* (2017) han permitido identificar alcaloides en *V. sebifera* y *V. suramensis*. Estos compuestos presentan actividades biológicas como anticancerígenos, antimaláricos, analgésicos, antutisivos y antiespasmódicos (Tanamatayarat, 2016).

Aceites fijos y esenciales

La única especie en la cual fue posible identificar la presencia de aceites fijos y esenciales fue *V. elongata*. Estudios realizados por Lopes *et al.* (1997) en *V. surinamensis* reportan un rendimiento inferior (0,5 %), al determinado para *V. elongata*; Anon (1999) resalta como compuestos predominantes en los aceites esenciales



de *V. surinamensis* los monoterpenos (α y β -pineno y p -cimeno). No se encontraron reportes del estudio de aceites fijos en frutos para este género ni para la especie.

Aunque en las demás especies no se identificaron aceites fijos o esenciales, un estudio en hojas de *C. rhoifolium* realizado por Carvalho *et al.* (2009), reporta la presencia de aceites esenciales con un rendimiento de 0,1 % cuyo principal componente identificado fue el α -copaeno, un sesquiterpeneo tricíclico.

Los aceites esenciales son compuestos naturales volátiles, sintetizados como metabolitos secundarios por las plantas, se emplean comúnmente en formulaciones cosméticas, particularmente en perfumes y en aceites de masaje, también exhiben propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Los compuestos fenólicos en los aceites esenciales son eliminadores de radicales libres muy efectivos (Gabbanini *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2017).

Conclusiones

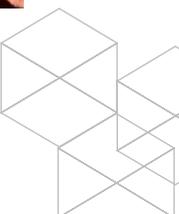
El estudio fitoquímico preliminar permitió identificar el potencial de uso de las especies *V. elongata* y *D. negrensis*, como posibles antioxidantes naturales para aplicaciones

cosméticas que permitan reducir el daño causado por especies reactivas, que pudieran reemplazar aditivos tóxicos comerciales tales como el BHA y BHT.

Compuestos como cumarinas, cardiotónicos y alcaloides en *V. elongata*, *D. negrensis*, *C. rhoifolium* e *I. laevis* sugieren que estas especies podrían presentar otras actividades biológicas de interés como antimicrobianos y antifúngicos.

V. elongata es la especie con mayor potencial identificado, ya que la planta en general presenta una gran riqueza fitoquímica, sus frutos son fuente considerable de un lípido de posible uso como aceite natural y sus hojas presentan un buen rendimiento de aceite esencial. Estos resultados sugieren una amplia variedad de actividades biológicas como antioxidantes, antifúngicas y antimicrobianas, entre otras.

Los resultados encontrados sugieren ampliar la caracterización de las especies *V. elongata*, *P. sagotianum*, *C. rhoifolium*, *I. laevis* e *D. Negrensis* que permita explorar otras actividades biológicas de interés cosmético y/o cosmecéutico.



Bibliografía

- Abraham**, K. Wöhrlin; F. Lindtner; O. Heinemeyer; G. & Lampen, A. (2010). Toxicology and risk assessment of coumarin: Focus on human data. *Mol. Nutr. Food Res.*, 54; pp. 228–239.
- Ainsworth**, E. A.; & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Natural Protocols* 2(4); pp. 875–877.
- Almeida**, E. X.; Conserva; L. M.; Lyra Lemos, R. P. (2002). Coumarins, coumarinolignoids and terpenes from *Protium heptaphyllum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 30(7); pp. 685–687. ISSN 0305-1978. Doi:10.1016/S0305-1978(01)00130-2.
- AOAC** International. (2007). *Official methods of analysis*. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Barata**, L. E.; Santos; L. S.; Ferri; P. H., Phillipson. J. D. Paine; A. & Croft, S. L. (2000). Anti-leishmanial activity of neolignans from *Virola* species and synthetic analogues. *Phytochemistry*, 9422; pp. 589–595. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)00240-5.
- Bernal**, F. A. & Cuca, L. E. (2007). Estudio fitoquímico de las hojas de *Virola* sp. (*Myristicaceae*). *Scientia et Technica*. 181(33), pp. 181–182.
- Carvalho**, L. E.; Da Silva Pinto D.; Da Paz Lima; M., Mayo Marques; M. & Facanali, R. (2009). The chemistry of essential oils of *crepidospermum rhoifolium*, *trattinickia rhoifolia* and *protium elegans* of the Amazon region. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 12(1), pp. 92–96. Doi: 10.1080/0972060X.2009.10643698.
- Catarino**, M. D.; Talhi, O., Rabahi; A., Silva; A. Cardoso, S. M. (2016). The Antiinflammatory Potential of Flavonoids: Mechanistic Aspects. *Studies in Natural Products Chemistry*. Doi: 10.1016/B978-0-444-63602-7.00003-5.
- Clark**, B. G. S. (2006). *An Aroma Chemical Profile Coumarin*, Easton, Maryland: Commodity Services International. pp. 23–34.
- Costa**, R. & Santos, L. (2017). *Delivery systems for cosmetics - From manufacturing to the skin of natural antioxidants*. *Powder Technology*. pp. 402–416. Doi: 10.1016/J.POWTEC.2017.07.086.
- Costa**, S.; Detoni; C. Branco; C. Botura; M. & Branco, A. (2015). In vitro photoprotective effects of *Marcetia taxifolia* ethanolic extract and its potential for sunscreen formulations. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(4); pp. 413–418. Doi: 10.1016/j.bjp.2015.07.013.
- De Oliveira**, I. R.; El-Hage M. de Barros Osório; R. Neves, A. & Cruz Vieira, I. (2007). Biomimetic sensor based on a novel copper complex for the determination of hydroquinone in cosmetics. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 122(1); pp. 89–94. ISSN 0925-4005. Doi: 10.1016/j.snb.2006.05.008
- Dias**, A. R. & Da S. V. G. (2015). Cumarinas: Origem, distribuição e efeitos tóxicos. En R. V. H. Vardanyan. *Synthesis of Best-Seller Drugs. Cardiotonic Inotropic Drugs*. Doi: 10.1016/B978-0-12-411492-0.00017-1.
- Feuya** Tchouya; G. Souza; A. Tchouankeu; J. Yala; J. Boukandou; M. Foundikou; H. Nguema Obiang; G. Fekam Boyom; F. Mabika; R. Zeuko'O Menkem; E. Tantoh Ndinteh; D. & Lebibi J. (2015). Ethnopharmacological surveys and pharmacological studies of plants used in traditional medicine in the treatment of HIV/AIDS opportunistic diseases in Gabon. *Journal of Ethnopharmacology*. pp. 306–316. Doi: 10.1016/j.jep.2014.12.052.
- Gabbanini**, S.; Lucchi E.; Carli; M. Berli; E. Minghetti; A. & Valgimigli; L. (2009). In vitro evaluation of the permeation through reconstructed human epidermis of essential oils from cosmetic formulations. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 50(3), pp. 370–376. Doi: 10.1016/j.jpba.2009.05.018.
- Garzón**, L. Cuca; L. E. Martínez; J. C. Yoshida; M. & Gottlieb, O. (1987). Flavonolignoid from the fruit of *Iryanthera laevis*. *Phytochemistry*. Pergamon, 26(10); pp. 2835–2837. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)83600-6.
- Herrera**, B. Arroyo; J. L. Herrera; O. Pari; B. & Loyola, E. (2014). Efecto cicatrizante del champú líquido de *Colletia spinosissima* J. Gmelin “Tacsana” en ratones. *Ciencia e investigación*:
- Islam**, R.; Fazlul Kabir; M. Alam; R. Dhar; R. Nasiruddin Rana; M. Islam; E. Parvin S. & Hossain, A. (2014). Sedative, membrane stability, cytotoxic and antioxi-



dant properties of methanol extract of leaves of *Protium serratum* Wall. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4(2); pp. S928-S933, ISSN 2222-1808. Doi: 10.1016/S2222-1808(14)60760-X.

Jara, A. (2013). Análisis fitoquímico y determinación de la actividad antioxidante del extracto etanólico de las hojas de la especie *Piper imperiale* (Piperaceae), (Trabajo de grado, química, UDCA) Disponible en <http://repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/243/1/203741.pdf>

Jáuregui, M. E. C.; Carrillo M. de la C. C. & Romo, F. P. G. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(3); pp. 233–241. Doi: 0004-0622.

Kato, M. J.; Yoshida, M. & Gottlieb, O. R. (1990). Lignoids and arylalkanones from fruits of *Virola elongata*. *Phytochemistry*, 29(6); pp. 1799–1810. Doi: 10.1016/0.031-9.422 (90) 85020-G

Kawanishi, K., Uhara; Y. & Hashimoto; Y. (1985). Alkaloids from the hallucinogenic plant *Virola sebifera*. *Phytochemistry*, 24(6); pp. 1373-1375. ISSN 0031-9422. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)81137-1.

Kim, Y. A.; Tarahovsky; Y. S.; Gaidin; S. G.; Yagolnik; E. A. & Muzafarov, E. N. (2017). Flavonoids determine the rate of fibrillogenesis and structure of collagen type I fibrils in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104; pp. 631–637. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.070.

KumarSaini, R. & Young-SooKeum. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*. 240; pp. 90–103. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.099.

Lopes, N. P.; Kato M. J.; De Aguiar Andrade; E. H., Maia; J. G. S. & Yoshida, M. (1997). Circadian and seasonal variation in the essential oil from *Virola surinamensis* leaves. *Phytochemistry*, 46(4); pp. 689–693. Doi: 10.1016/S0031-9422(97)00324-5.

Lopes, N. P.; Silva; D. H. S.; Kato; M. J. & Yoshida; M. (1998). Butanolides as a common feature of *Iryanthera lancifolia* and *Virola surinamensis*. *Phytochemistry*, 49(5); pp. 1405–1410. Doi: 10.1016/S0031-9422(97)01092-3.

Lopez, A., Hudson, J. B. & Towers, G. H. N. (2001). Antiviral and antimicrobial activities of Colombian medicinal plants. *Journal of ethnopharmacology*, 77(2-3); pp. 189-196. Doi: 10.1016/S0378-8741(01)00292-6

Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M. & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, 17(6); pp. 271–278. Doi: 10.3305/nutr_hosp.v17in06.3338.

Matsumoto, M., Todo, H., Akiyama, T. & Hirata-koizumi, M. (2016). Risk assessment of skin lightening cosmetics containing hydroquinone. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 81; pp. 128–135. Doi: 10.1016/j.yrtph.2016.08.005.

Lopes, N. P.; Dulce, H., Silva, D. H. S., Massuo J. K. and Massayoshi, Y. (1998). Butanolides as a Common Feature of *Iryanthera Lancifolia* and *Virola Surinamensis*. *Phytochemistry* 49(5); pp. 1405–10.

Lopes, N. P.; Kato; M. J.; Andrade; E. De A. Maia, J. G. S.; Yoshida, M.; Planchart, A. R. & Katzin, A. M. (1999). Antimalarial use of volatile oil from leaves of *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. by Waiãpi Amazon Indians. *Journal of Ethnopharmacology*, 67(3); pp. 313–319. Doi: 10.1016/S0378-8741(99)00072-0.

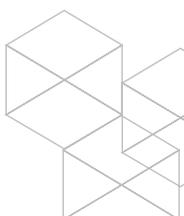
Macrae, W. D. & Towers, G. H. N. (1985).

Non-alkaloidal constituents of *Virola elongata* bark. *Phytochemistry*, 24(3); pp. 561–566. Doi: org/10.1016/S0031-9422(00)80766-9

Martínez, J. C. & Cuca, L. E. (1989). Dihidrochalconas en corteza de *Iryanthera laevis*. *Revista Colombiana de Química* 18(1-2). Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/19281/1/15236-46224-1-PB.pdf>

Martínez Valderrama, J. C. (2000). Distribution of flavonoids in the *Myristicaceae*. *Phytochemistry*, 55(6); pp. 505-511, ISSN 0031-9422. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)00114-X.

Matsumoto, M.; Todo; H. Akiyama; T. Hirata-Koizumi; M. Sugibayashi; K. Ikarashi; Y. Ono; A. Hirose; A. & Yokoyama, K. (2016). Risk assessment of skin lightening cosmetics containing hydroquinone. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 81; pp. 128-135. ISSN 0273-2300. Doi: 10.1016/j.yrtph.2016.08.005.



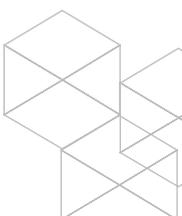
- Murphy, D. J.** (2016). Alkaloids, In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Oxford: Academic Press. pp. 118-124. ISBN 9780123948083. Doi: 10.1016/B978-0-12-394807-6.00221-5.
- Radice, M., Manfredini, S., Ziosi, P., Dissette, V., Buso, P., Fallacara, A. & Vertuani, S.** (2016). Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*, 114; pp. 144–162. doi: 10.1016/j.fitote.2016.09.003.
- Reyes-López, D., Quiroz-Valentín, J., Kelso-Bucio H. A., Huerta-Lara, M., Avendaño-Arrazate, C. H. & Lobato-Ortiz, R.** (2015). Caracterización estomática de cinco especies del género *Vanilla*. *Agron. Mesoam.*, 26(2); pp. 237–246. Doi: 10.13140/RG.2.1.4253.7448
- Silva, M. da., Ferreira, V. & Souza, M.** (2003). Um panorama atual da química e da farmacologia de naf-toquinonas, com ênfase na b-lapachona e derivados. *Quím. Nova* 26(3); pp. 407-416. ISSN 0100-4042. Doi: 10.1590/S0100-40422003000300019.
- Siani, A., Zoghbi, M., Wolter, E. & Vencato, I.** (1998). 5-methoxyjusticidin A, a new aryl-naphthalene lignan from *Protium unifoliolatum*. *Journal of Natural Products*, 61(6); pp. 796–797. Doi: 10.1021 / np9702291
- Sieniawska, E. & Baj, T.** (2017). Pharmacognosy. Boston: Academic Press. pp. 199-232. ISBN 9780128021040. Doi: 10.1016/B978-0-12-802104-0.00010-X.
- Souza, T. M., Moreira, R., Pietro, R. & Isaac, V.** (2007). Avaliação da atividade anti-septica de extrato seco de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville e de preparo cosmética contendo este extrato. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 17(1); pp. 71–75. Doi: 10.1590/S0102-695X2007000100015.
- Stevanato, R., Bertelle, M. & Fabris, S.** (2014). Photo-protective characteristics of natural antioxidant polyphenols. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 69(1); pp. 71–77. Doi: 10.1016/j.yrtph.2014.02.014.
- Tanamatayarat, P.** (2016). Antityrosinase, antioxidative activities, and brine shrimp lethality of ethanolic extracts from *Protium serratum* (Wall. ex Colebr.) Engl. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(12); pp. 1050–1055. Doi: 10.1016/j.apjtb.2016.10.001.
- Tanfurt-García, G. & Muñoz-Acevedo, A.** (2012). Metabolitos volátiles presentes en *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. colectado en Tame (Arauca - Colombia). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 11(3); pp. 223–232. ISSN 0717 7917
- Tanamatayarat, P.** (2016). Antityrosinase, antioxidative activities, and brine shrimp lethality of ethanolic extracts from *Protium serratum* (Wall. ex Colebr.) Engl. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(12); pp. 1050–1055. ISSN 2221-1691. Doi:10.1016/j.apjtb.2016.10.001.
- Tee, L. H., Yang, B., Prasad Nagendra, K., Nagasundara Ramanan, R., Sun, J., Chan, E., Tey, B., Azlan, A., Ismail, A., Yuon Lau, C. & Jiang, Y.** (2014). Nutritional compositions and bioactivities of *Dacryodes* species: A review. *Food Chemistry*, 165; pp. 247-255. ISSN 0308-8146. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.084.
- Tee, L., Yang, B., Tey, B., Chan, E., Azlan, A., Ismail, A., Sun, J., Lau, C., Palanisamy, U., Ramanan, R. & Prasad, K.** (2017). Valorization of *Dacryodes rostrata* fruit through the characterization of its oil. *Food Chemistry*, 235; pp. 257-264. ISSN 0308-8146. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.021.
- Valderrama, J. C. M.** (2000). Distribution of flavonoids in the *Myristicaceae*. Distribution of flavonoids in the *Myristicaceae*. *Phytochemistry* 55(6), pp. 505–511.
- Veiga, A., Albuquerque, K., Corrêa, M. E., Brigido, H., Silva e Silva, J., Campos, M., Silveira, F., Santos, L. & Dolabela, M.** (2017). *Leishmania amazonensis* and *Leishmania chagasi*: In vitro leishmanicide activity of *Virola surinamensis* (rol.) warb. *Experimental Parasitology*, 175, pp. 68–73. Doi: 10.1016/j.exppara.2017.02.005.
- Wang, H. F., Yih, K. H., Yang, C. H. & Huang, K. F.** (2017). Anti-oxidant activity and major chemical component analyses of twenty-six commercially available essential oils. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(4); pp. 881–889. Doi: 10.1016/j.jfda.2017.05.007.
- Wink, M.** (2016). Alkaloids: Toxicology and Health Effects. *Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press; pp. 106-114. ISBN 9780123849533, Doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00020-9.
- Wolosky, O. C. & Ordiales, L. L.** (2015). Esteroides tópicos: revisión actualizada de sus indicaciones y efectos adversos en dermatología. *DermatologíaCMQ*. 13(4); pp. 305–312.



6.

Estimación del Carbono Almacenado en la Biomasa Aérea de Relictos de Bosque en Áreas Intervenidas del Departamento del Guaviare

Luisa Fernanda Pinzón, Pilar Buchelli,
Jaime Barrera, Sandra Castro y Lina Vergara



Resumen

Se estimó el contenido de carbono en la biomasa aérea en tres parcelas experimentales ubicadas en parches de bosque denso alto de tierra firme distribuidos en los municipios de San José, Retorno y Calamar, se evaluaron tres compartimentos de vegetación leñosa. Se realizaron dos monitoreos posteriores al establecimiento de las parcelas de muestreo, donde se valoró el incremento de los parámetros evaluados.

La vegetación evaluada presenta un mayor contenido estimado de carbono total almacenado en la biomasa aérea dentro del parche del municipio Calamar, con un incremento de 146 a 161 t x ha⁻¹ en tres años, seguido por el parche del municipio el Retorno con un incremento de 107 a 117 t x ha⁻¹, mientras que el parche de San José del Guaviare presentó los menores valores estimados con un incremento de 73 a 75 t x ha⁻¹. Estos resultados ponen en evidencia un nivel de deforestación de los bosques mayor en San José del Guaviare, que disminuye hacia los municipios ubicados al sur, Retorno y Calamar, y sus consecuencias sobre los reservorios de biomasa aérea y carbono almacenado, que comprometen la prestación de los servicios ecosistémicos relacionados con la dinámica de este elemento.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, deforestación, ecuaciones alométricas

Introducción

Cerca de 40 % del contenido total de carbono de la tierra (Dixon et al., 1994) y del 36 % de la productividad primaria neta (PPN) (Field et al., 1998) corresponde a los bosques tropicales. La incertidumbre sobre el papel de los ecosistemas boscosos en el ciclo y balance global del carbono ha dificultado la implementación eficiente de proyectos de reducción de emisiones por deforestación y/o degradación de los bosques-REDD (IPCC, 2007). Los métodos disponibles para cuantificar la biomasa y el carbono (C) en los bosques tropicales tienen limitaciones debido a la poca exactitud en los procedimientos para hacer las estimaciones. En la formulación de un proyecto encaminado a reducir las emisiones causadas por la deforestación y degradación del bosque, se definen límites espaciales y

temporales del proyecto, los reservorios de carbono que serán monitoreados y las fuentes de emisiones de GEI (BioCarbon Fund, 2008). Es por ello que la generación de modelos alométricos constituye una herramienta básica y eficiente para estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono de los árboles, y por ende, en los bosques.

Los bosques están compuestos por reservorios que almacenan el carbono en diferentes compartimentos: en la biomasa aérea y subterránea de los árboles, en la necromasa, que incluye árboles muertos en pie y caídos, fragmentos de madera, ramas caídas y hojarasca fina en la vegetación del sotobosque y en la materia orgánica del suelo. Cuando un árbol muere, ya sea por causas naturales o por que fue cortado como parte de una actividad humana, el carbono almacenado anteriormente en la biomasa se destina a tres reservorios: la madera muerta o detritos de madera, los productos maderables y la atmósfera (GOF-C-GOLD, 2010).

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, para producir oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso, las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos). A esta se suman las emisiones de GEI debido a la deforestación, incendios, gases industriales y quema de combustibles: acciones antropogénicas que contribuyen con el desequilibrio del ciclo de carbono.

El presente documento tiene como fin presentar los resultados de la estimación del contenido de C en la biomasa aérea existente en los relictos de bosque alto denso de tierra firme del departamento del Guaviare.



Materiales y métodos

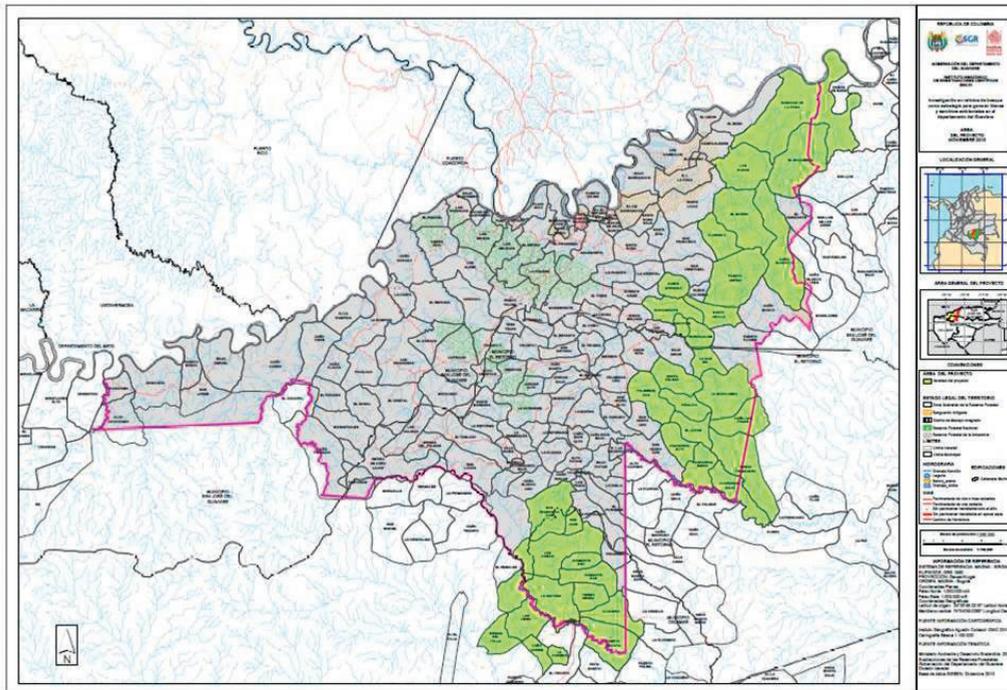
Área de estudio

El presente estudio está basado en la propuesta de una red ecológica de conservación para la conectividad entre relictos de bosque a través de la generación de conocimiento en la visión de servicios ecosistémicos (SE) que se enmarca dentro del proyecto *Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*. Los relictos de bosque ocupan un área de 89.929,71 ha dentro del área de sustracción de la reserva forestal en el departamento del Guaviare (figura 1), distribuidos en los municipios de San José, el Retorno y Calamar.

En el área de influencia el régimen de la precipitación es monomodal, caracterizado por un periodo seco entre diciembre y enero con un promedio de 124,65 mm mensuales y uno lluvioso entre abril y julio con un pro-

medio de 374,35 mm mensuales (Registros históricos de IDEAM 20 años), con algunas épocas intermedias de menor precipitación debido al paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (SINCHI, 2010). En este mismo sentido se presenta un período de altas temperatura entre el mes de octubre a marzo con un promedio de 25,78 °C y otro periodo con una temperatura media mensual de 24,72 °C (Registros históricos de IDEAM 20 años). Para el departamento de Guaviare la media anual de la humedad relativa es de 84,3 %, con el valor más alto en los meses de mayo a julio. El valor mínimo de humedad es de 79,8 % y se presenta en el mes de enero. La distribución temporal del brillo solar tiene valores máximos durante los meses de septiembre a enero (oscila entre 140 y 160 horas), en el periodo seco, y valores mínimos en los meses de abril a julio (100 horas), correspondiente a la temporada de lluvias (SINCHI, 2010).

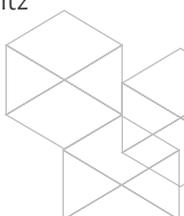
Figura 1. Mapa del área del proyecto (Instituto SINCHI 2015)



Fuente: Elaboración propia

Establecimiento de parcelas y estimación de biomasa aérea en relictos de bosque

De acuerdo con el área de los parches de bosque alto denso de tierra firme (Badtf) seleccionados, se definió un tamaño de parcela de 0,25 ha (50 m x 50 m) como el más apropiado para alcanzar el error requerido en las estimaciones de carbono ($\pm 10\%$ con 95 % de confianza) en proyectos forestales (Emmer, 2007; Biocarbon Fund 2008; Rüginitz



et al., 2009). Para el trazado y delimitación en campo de la parcela, se tuvo en cuenta la homogeneidad de la cobertura, en lo posible continua, sin interrupciones de caños o quebradas. Se dejó una franja amortiguadora que rodeara la parcela y cuya vegetación debe ser igual a la de la parcela. Cada individuo censado dentro de la parcela se marcó utilizando un lápiz de cera de color visible en el fuste; para lo cual se le retiró una porción de corteza para poder escribir bien sobre el fuste. En los bordes solo se tuvo en cuenta los árboles que se encuentren enraizados dentro de la parcela así parte de su tronco y copa estén fuera de ella.

Para efectos del presente monitoreo, los depósitos, compartimientos o reservorios de C objeto de medición corresponden a la biomasa aérea de árboles, palmas, arbustos con tallos de DAP ente 5-10 cm y arbustos o hierbas leñosas con tallos de DAP entre 2-5 cm. Para la medición de la biomasa aérea en árboles, palmas y arbustos se utilizó el método indirecto mediante ecuaciones alométricas, las cuales son una relación matemática que permite estimar una variable (volumen o biomasa) con base en una o más variables independientes (diámetro a la altura del pecho DAP, altura de los árboles, o densidad de la madera). Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión y están en función del tipo de vegetación y especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, barbechos y bosques naturales o incluso para árboles dispersos) y tipo de componente (Rügnitz, M. T. et al., 2009). Sin embargo, se utilizan ecuaciones alométricas de acuerdo con la situación local (clima, ecosistema, especie y diámetro). Cabe destacar que las ecuaciones alométricas de especies forestales en bosques tropicales se encuentran principalmente en función de una única variable, el DAP y la densidad de la madera (Álvarez et al., 2012, Yepes et al., 2011).

En las especies arbóreas y palmas las variables registradas corresponden a la altura total y la altura de fuste, el DAP y la densidad de madera. El diámetro de los árboles es medido con la corteza, a la altura del pecho (1,3 m), (DAP). Se utilizó una cinta diamétrica (cinta flexible usada para medir la circunferencia, que proporciona el resultado directamente en unidades de

diámetro en centímetros. Para el caso de arbustos o vegetación con un diámetro menor a 5 cm se utilizó un pie de rey o calibrador digital. La densidad específica de madera (SSD) es la masa seca de una sección del tallo principal de una planta, dividido por el volumen de la misma sección, cuando aún está fresco, expresada en g cm⁻³. Esta variable se obtiene extrayendo una muestra del fuste con un barreno de incremento, que luego es pesada y secada en horno durante 72 horas a 62 °C.

Para el inventario de tallos leñosos con DAP entre 5 y 10 cm y tallos entre 2 y 5 cm, se trazaron cinco parcelas de tamaño intermedio con dimensiones de 5 x 5 m, las cuales se ubicaron al azar dentro de la parcela principal de 50 x 50 en la cobertura de BADTF. En esta parcela el objetivo primordial es medir vegetación como palmeras u otros tallos leñosos que pueden estar presentes dentro del sistema muestreado y que si se midieran en un área mayor ocasionarían problemas de sobre-muestreo y de eficiencia (pues el tiempo necesario por parcela aumentaría considerablemente).

En la parcela de 5 x 5 m, se miden los individuos con DAP entre 5 y 10 cm. Los datos tomados a esta vegetación son DAP que utilizan cinta dimétrica o calibrador digital si es necesario, la altura total y altura del fuste por medio de cintas métricas. El diámetro de los individuos es medido con la corteza, a la altura del pecho (1,3 m) cuando su altura lo permitía, (DAP).

Para los individuos con DAP entre 2 y 5 cm se trazó una subparcela de 2 x 2 m al interior del área de 5 x 5 m. Se sigue el mismo procedimiento que para los individuos de la parcela de 5 x 5 m.

Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa

Se utilizaron las ecuaciones recomendadas en el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia (Yepes et al., 2011) para el cálculo de biomasa de palmas y arbustos. Para estimar la biomasa aérea de los individuos arbóreas de DAP > 10 cm se utilizó la ecuación alométrica propuesta por Álvarez et al. (2012) para bosque húmedo tropical presentadas en la tabla 1.



Tabla 1. Ecuaciones alométricas usadas en el presente estudio

| Autor | Hábito | Ecuación alométrica |
|----------------------|----------------------------|---|
| Álvarez et al., 2012 | Árbol | $BA = \exp(2,406 - 1,289 \ln[D] + 1,169 [\ln[D]]^2 - 0,122 [\ln[D]]^3 + 0,445 \ln[\rho])$ |
| Yepes et al., 2011 | Palma | $BA = \exp(-6,3789 - 0,877 \ln[1/D^2] + 2,151 \ln L)$ |
| Yepes et al., 2011 | Arbustos y hierbas leñosas | $BA = \exp(2,4128 \ln D - 1,9968)$ |

Fuente: Elaboración propia

Donde BA es biomasa aérea del árbol en kg, D es el diámetro a la altura del pecho medido a 1,30 m de altura desde el suelo (cm), H es la altura total del individuo, ρ es la densidad de la madera en $g\ cm^{-3}$, y L es la longitud del estipe.

Para determinar la fracción de carbono acumulado en la biomasa estimada, se tuvo en cuenta que una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente 0,5 toneladas (t) de carbono y una tonelada de carbono equivale a 3,67 t de CO₂ (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂ de 12 / 44) (Rügnitz, M. T. et al., 2009; IPCC, 2003).

Análisis estadísticos

Para realizar comparaciones de los contenidos de biomasa y carbono estimados entre las tres parcelas evaluadas, se realizaron análisis de varianza (ANOVA). Previamente se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilks) en los conjuntos de valores de carbono estimado, para seleccionar el tipo de prueba de comparación. En los casos en que se cumplió la normalidad de los datos se realizó un análisis LSD de Fisher, y análisis de Kruskal-Wallis cuando los datos no se ajustaron a una distribución normal. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat (2008).

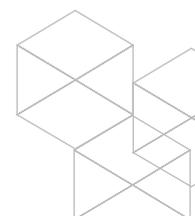
Resultados

Se presentan los resultados de tres parcelas de seguimiento establecidas en parches de bosque alto denso de tierra firme localizados en los municipios de San José del Guaviare, Retorno y Calamar, correspondientes a la estimación de biomasa aérea y contenido de carbono en especies arbóreas, palmas, arbustos y hierbas leñosas, en tres eventos de muestreo: el primero en 2014 a partir del establecimiento de las parcelas semi-permanentes, el segundo en 2016 durante la primera reevaluación de dichas parcelas, y el tercero en 2017 durante la segunda evaluación. La tabla 2 muestra la ubicación y datos generales de las tres parcelas.

Tabla 2. Área, altitud y coordenadas geográficas de las tres parcelas permanentes de muestreo establecidas en el bosque denso alto de tierra firme, departamento del Guaviare

| No | Código de la parcela | Parche | Municipio | Área (m ²) | Altitud (msnm) | Coordenadas Geográficas | |
|----|----------------------|----------|-----------|------------------------|----------------|-------------------------|-------------|
| | | | | | | Latitud | Longitud |
| 1 | SG/P14C | SGUA | San José | 25 00 | 355 | 02 27 05,20 | 72 31 09,40 |
| 2 | RCBA/11C | RCBA | Retorno | 2500 | 193 | 02 11 9,60 | 72 28 48,6 |
| 3 | CLAD/03B | CDIU_LAD | Calamar | 2500 | 242 | 02 02 28,50 | 72 41 08,70 |

Fuente: Elaboración propia



Estimación de carbono en biomasa aérea de árboles y palmas

El número de individuos de árboles registrados en total en las tres parcelas, varió entre 383 y 368 en los tres años de seguimiento, la estimación de este número de individuos por hectárea de muestreo se distribuye en cada parche como muestra la tabla 3. El valor medio de individuos por hectárea en los parches varía de 511 a 491, que son valores cercanos a los datos reportados en el estudio de Lewis *et al.* (2004) donde menciona que encontraron una densidad de 597 fustes ha⁻¹ con diámetros mayores o iguales a 10 cm en parcelas de la Amazonia.

Tabla 3. Individuos arbóreos por hectárea y biomasa total por hectárea de muestreo estimados en las tres parcelas permanentes durante tres años de monitoreo

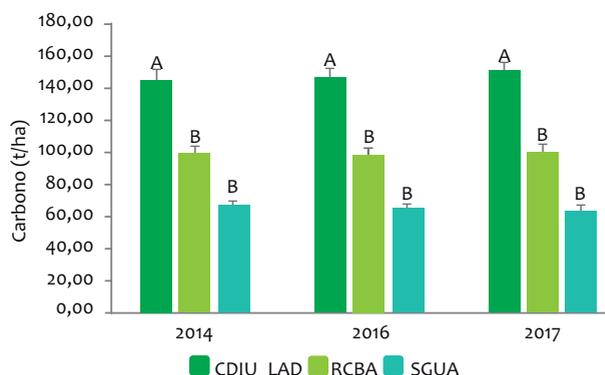
| Parche | Individuos/ha | | | Biomasa t/ha | | |
|----------|---------------|------|------|--------------|-------|-------|
| | 2014 | 2016 | 2017 | 2014 | 2016 | 2017 |
| CDIU_LAD | 548 | 520 | 500 | 288,7 | 292,0 | 300,5 |
| RCBA | 424 | 420 | 416 | 197,8 | 195,2 | 200,1 |
| SGUA | 560 | 572 | 556 | 133,9 | 127,9 | 126,2 |
| Media | 511 | 504 | 491 | 206,8 | 205,0 | 208,9 |

Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra los valores de carbono estimados por hectárea para los tres parches de durante los tres eventos de muestreo, donde el parche CDIU LAD en Calamar, presenta un mayor valor con respecto a los otros dos parches, y en los tres casos difiere significativamente de los parches RCBA y SGUA; este último presenta los valores más bajos.



Figura 2. Contenido de carbono en la biomasa arbórea aérea estimado en tres parches de muestreo, durante tres años. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tres parches para la prueba Kruskal Wallis, alfa=0,05



Fuente: Elaboración propia

El número de individuos de palmas registrados en total en las tres parcelas, varió de 89 a 81 en los tres años de monitoreo, el promedio de individuos estimados por hectárea de muestreo en los parches varía de 119 a 108, distribuidos como muestra la tabla 4. La figura 3 muestra los valores de carbono estimados por hectárea para los tres parches en los tres eventos de muestreo, en los tres casos el parche CDIU LAD mostró un valor significativamente menor con respecto a los otros dos parches de muestreo.

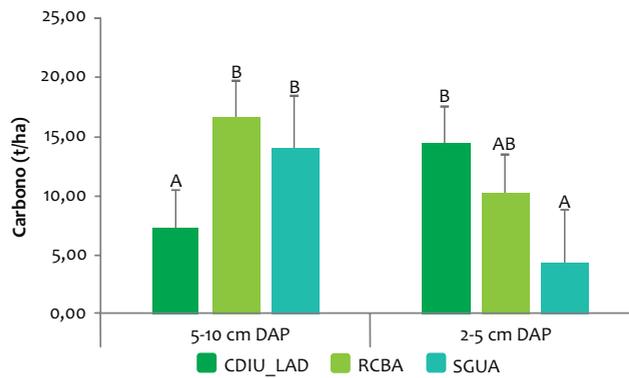
Tabla 4. Individuos de especies de palmas y biomasa total por hectárea de muestreo estimados en las tres parcelas permanentes durante tres años de monitoreo

| Parche | Individuos/ha | | | Biomasa t/ha | | |
|----------|---------------|------|------|--------------|------|------|
| | 2014 | 2016 | 2017 | 2014 | 2016 | 2017 |
| CDIU_LAD | 20 | 24 | 24 | 0,78 | 0,83 | 0,83 |
| RCBA | 184 | 172 | 172 | 8,03 | 7,55 | 7,65 |
| SGUA | 152 | 132 | 128 | 8,32 | 7,48 | 7,57 |
| MEDIA | 119 | 109 | 108 | 5,71 | 5,29 | 5,35 |

Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Biomasa aérea total de palmas estimada en tres parches de muestreo, durante tres años. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tres parches para la prueba Kruskal Wallis, alfa=0,05



Fuente: Elaboración propia

Monitoreo de tallos leñosos con DAP entre 5 - 10 cm y tallos entre 2 - 5 cm

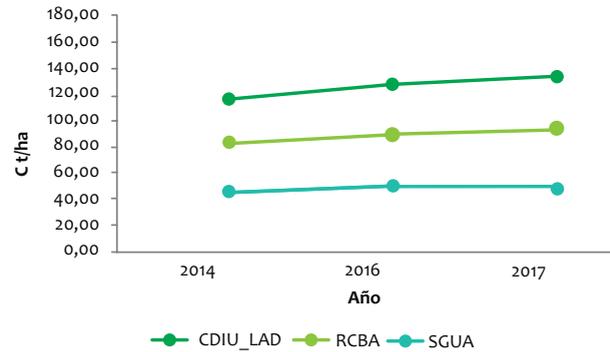
El número de individuos de arbustos estimados por hectárea de muestreo en los parches varía de 1333 a 2833 tallos con DAP 2-5 cm, y de 267 a 800 tallos con DAP 5-10 cm, distribuidos como muestra la tabla 5. La figura 4 muestra los valores de biomasa estimados por hectárea para los tres parches de muestreo en el monitoreo realizado en 2017, donde el parche del Retorno RCBA (16,5 t x ha⁻¹) presenta un mayor valor de biomasa de arbustos con DAP entre 5-10 cm, seguido por el parche SGUA con un valor similar (13,6 t x ha⁻¹), los cuales difieren significativamente del parche CDIU LAD (7,05 t x ha⁻¹) a partir del ANOVA y la prueba Kruskal Wallis. El parche CDIU LAD presentó el mayor valor de biomasa de individuos de DAP entre 2-5 cm por hectárea (14,1 t x ha⁻¹), que difiere significativamente del valor del parche SGUA (4,11 t x ha⁻¹).

Tabla 5. Individuos de especies de arbustos por hectárea de muestreo estimados en las tres parcelas permanentes durante tres años de monitoreo

| Parche | Tallos DAP 2-5 cm | | | Tallos DAP 5-10 cm | | |
|----------|-------------------|------|------|--------------------|------|------|
| | 2014 | 2016 | 2017 | 2014 | 2016 | 2017 |
| CDIU_LAD | 1500 | 3500 | 3500 | 400 | 640 | 640 |
| RCBA | 2000 | 3500 | 3500 | 240 | 960 | 960 |
| SGUA | 500 | 1500 | 1500 | 160 | 880 | 800 |
| MEDIA | 1333 | 2833 | 2833 | 267 | 827 | 800 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Biomasa aérea de arbustos estimada en tres parches de muestreo a partir de una ecuación alométrica y datos registrados en el 2017. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tres parches para la prueba Kruskal Wallis, alfa=0,05



Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra los valores de contenido de carbono estimado en la biomasa aérea de arbustos, diferenciado en tallos leñosos de 2-5 cm de DAP y tallos leñosos de 5-10 cm de DAP. En el parche CDIU LAD es donde se observa el mayor incremento en los tres años en la biomasa y contenido de carbono en los tallos de 2-5 cm, por el contrario este parche exhibe el menor incremento en los tallos de 5-10 cm. Al analizar el contenido de carbono estimado por hectárea total en los dos compartimentos (tallos leñosos con DAP < 10 cm) se puede observar un incremento similar en todas las parcelas durante los tres años de seguimiento, pues no se presentan diferencias significativas entre los parches para cada año (tabla 7).

Tabla 6. Contenido de carbono estimado (t x ha⁻¹) en la biomasa aérea de tallos leñosos con DAP entre 5 - 10 cm y tallos entre 2 - 5 cm en tres parcelas permanentes durante tres años de monitoreo. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tres parches para la prueba Kruskal Wallis, alfa=0,05.

| Parche | Tallos DAP 2-5 cm | | | Tallos DAP 5-10 cm | | |
|----------|-------------------|--------|---------|--------------------|--------|--------|
| | 2014 | 2016 | 2017 | 2014 | 2016 | 2017 |
| CDIU_LAD | 0,21 A | 5,79 A | 7,04 B | 1,69 AB | 3,13 A | 3,52 A |
| RCBA | 2,08 A | 4,34 A | 4,97 AB | 2,56 B | 7,81 B | 8,23 B |
| SGUA | 0,96 A | 1,99 A | 2,06 A | 1,04 A | 6,71 B | 6,82 B |

Fuente: Elaboración propia

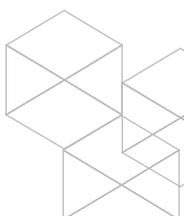


Tabla 7. Contenido total de carbono estimado (t x ha-1) en la biomasa aérea de arbustos de tres parcelas permanentes durante tres años de monitoreo. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tres parches para la prueba Kruskal Wallis, alfa=0,05

| Parche | 2014 | 2016 | 2017 |
|----------|--------|---------|---------|
| CDIU_LAD | 1,90 A | 8,92 A | 10,56 A |
| RCBA | 4,64 A | 12,15 A | 13,20 A |
| SGUA | 2,00 A | 8,69 A | 8,87 A |

Fuente: Elaboración propia

Variaciones del contenido de biomasa y carbono en los depósitos evaluados

Al analizar las variaciones en los contenidos estimados de carbono en los tres compartimentos de vegetación evaluados, árboles, palmas y tallos leñosos con DAP menor a 10 cm, se encontró un mayor incremento total en Calamar, Guaviare, CDIU LAD tanto entre 2014 y 2016 (5,91 %) como entre 2016 y 2017 (3,80 %) (tabla 8). En el parche RCBA los porcentajes de incremento total en el contenido estimado de carbono tienen valores simila-

res, tanto entre 2014 y 2016 (5,59 %) como entre 2016 y 2017 (3,12 %), no obstante el incremento registrado en el primer monitoreo corresponde principalmente a los tallos leñosos de DAP<10 cm, en árboles y palmas se presenta una reducción tanto en la biomasa como en el carbono estimados (tabla 9). En el parche SGUA se registró un incremento de 4,43 % en el contenido total de carbono estimado entre 2014 y 2016, el cual también se debe principalmente a un incremento considerable en el compartimento correspondiente a los tallos leñosos de DAP<10 cm, y entre 2016 y 2017 se observa una leve disminución de -0,77 % en los valores estimados de contenido total de C (tabla 10). Si bien el número de individuos de árboles y palmas no se reduce considerablemente en el último año de monitoreo, se observa una disminución en el valor medio de biomasa por individuo arbóreo en la parcela. Esto como consecuencia de que algunos individuos que fueron registrados como muertos en pie o muertos caídos en el último monitoreo, alcanzaban valores de biomasa superiores a los 600 kg, que resultan ser de gran importancia en este parche de muestreo donde el valor medio de biomasa por individuo arbóreo fue de 239,14 kg, en el momento de establecimiento (tabla 11).

Tabla 8. Valores estimados de biomasa media por individuo, biomasa aérea total por hectárea y contenido de carbono total por hectárea en los tres compartimentos de vegetación monitoreados durante tres años en el parche CDIU LAD del municipio Calamar. Se indica el porcentaje correspondiente a cada compartimento, así como el porcentaje de incremento en el contenido estimado de C en 2016 y 2017

| Año | Compartimento | Biomasa media kg/ind | Biomasa t/ha | C t/ha | Porcentaje comp. | Porcentaje incremento C % |
|------|--------------------|----------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------------|
| 2014 | Arboles | 534,66 | 277,0 | 138,50 | 98,4 | |
| | Palmas | 39,02 | 0,78 | 0,39 | 0,3 | |
| | Tallos dap < 10 cm | 5,38 | 3,80 | 1,90 | 1,3 | |
| | Total | | 281,58 | 140,79 | | |
| 2016 | Arboles | 561,45 | 284,23 | 142,12 | 93,8 | 2,61 |
| | Palmas | 41,37 | 0,83 | 0,41 | 0,3 | 6,03 |
| | Tallos dap < 10 cm | 6,76 | 17,85 | 8,92 | 5,9 | 369,47 |
| | Total | | 302,91 | 151,45 | | 7,57 |
| 2017 | Arboles | 600,96 | 292,61 | 146,30 | 93,0 | 2,95 |
| | Palmas | 41,38 | 0,83 | 0,41 | 0,3 | 0,02 |
| | Tallos dap < 10 cm | 7,75 | 21,12 | 10,56 | 6,7 | 18,39 |
| | Total | | 314,56 | 157,28 | | 3,85 |

Fuente: Elaboración propia



Tabla 9. Valores estimados de biomasa media por individuo, biomasa aérea total por hectárea y contenido de carbono total por hectárea en los tres compartimentos de vegetación monitoreados durante tres años en el parche RCBA del municipio El Retorno. Se indica el porcentaje correspondiente a cada compartimento, así como el porcentaje de incremento en el contenido estimado de C en 2016 y 2017

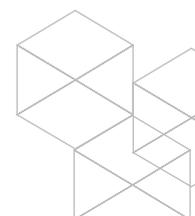
| Año | Comportamiento | Biomasa media kg/ind | Biomasa t/ha | C t/ha | Porcentaje comp. | Porcentaje incremento C |
|------|---------------------------|----------------------|---------------|---------------|------------------|-------------------------|
| 2014 | Árboles | 466,43 | 196,76 | 98,38 | 91,9 | |
| | Palmas | 45,60 | 8,03 | 4,01 | 3,7 | |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 10,32 | 9,27 | 4,64 | 4,4 | |
| | Total | | 214,06 | 107,03 | | |
| 2016 | Árboles | 464,86 | 195,28 | 97,64 | 86,0 | -0,75 |
| | Palmas | 43,90 | 7,55 | 3,78 | 3,3 | -5,92 |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 11,19 | 24,29 | 12,15 | 10,7 | 161,85 |
| | Total | | 227,12 | 113,56 | | 6,11 |
| 2017 | Árboles | 481,07 | 200,60 | 100,30 | 85,5 | 2,72 |
| | Palmas | 44,46 | 7,65 | 3,82 | 3,3 | 1,27 |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 11,88 | 26,39 | 13,20 | 11,2 | 8,64 |
| | Total | | 234,64 | 117,32 | | 3,31 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Valores estimados de biomasa media por individuo, biomasa aérea total por hectárea y contenido de carbono total por hectárea en los tres compartimentos de vegetación monitoreados durante tres años en el parche SGUA del municipio San José del Guaviare. Se indica el porcentaje correspondiente a cada compartimento, así como el porcentaje de incremento en el contenido estimado de C en 2016 y 2017

| Año | Compartimento | Biomasa media kg/ind | Biomasa t/ha | C t/ha | Porcentaje comp. | Porcentaje incremento C |
|------|---------------------------|----------------------|---------------|--------------|------------------|-------------------------|
| 2014 | Árboles | 239,14 | 127,18 | 63,59 | 91,2 | |
| | Palmas | 54,73 | 8,32 | 4,16 | 6,0 | |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 9,97 | 4,01 | 2,00 | 2,8 | |
| | Total | | 139,51 | 69,75 | | |
| 2016 | Árboles | 223,52 | 122,34 | 61,17 | 83,1 | -3,81 |
| | Palmas | 56,69 | 7,48 | 3,74 | 5,1 | -10,05 |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 12,54 | 17,39 | 8,69 | 11,9 | 334,50 |
| | Total | | 147,21 | 73,60 | | 5,52 |
| 2017 | Árboles | 227,06 | 119,76 | 59,88 | 82,6 | -2,11 |
| | Palmas | 59,12 | 7,57 | 3,78 | 5,2 | 1,12 |
| | Tallos <i>dap</i> < 10 cm | 13,57 | 17,75 | 8,87 | 12,3 | 2,07 |
| | Total | | 145,08 | 72,54 | | -1,45 |

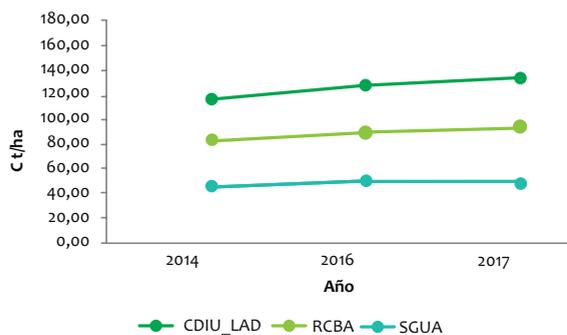
Fuente: Elaboración propia



La figura 5 muestra la variación en los valores estimados de C total (t x ha⁻¹) en los tres compartimentos estudiados, durante los tres años de monitoreo, en las tres parcelas permanentes. Las figuras 6 a 8 muestran dicha variación para cada uno de los compartimentos de biomasa aérea evaluados: árboles, palmas y tallos con DAP < 10 cm. En estas figuras se indica el porcentaje representado por cada compartimento dentro del carbono total estimado (t x ha⁻¹) en la parcela para cada año de monitoreo. Debido a que los árboles representan la mayor parte del contenido de carbono total en las tres parcelas (entre 83 y 98 %), las variaciones de este compartimento son similares a las del carbono total (figuras 5 y 6).

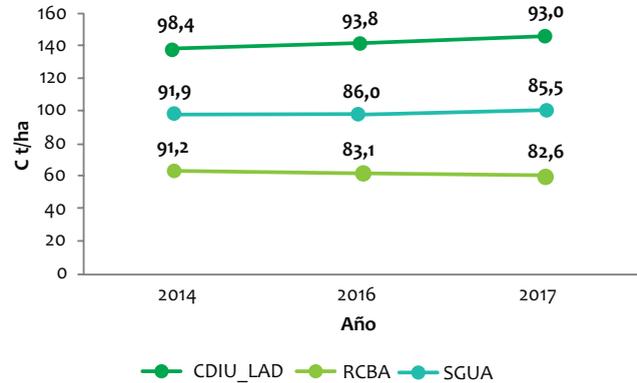
En el caso del contenido de carbono en la biomasa aérea de palmas, los parches RCBA y SGUA presentan valores muy cercanos durante los tres años, pero en el segundo parche la importancia relativa de este compartimento es mayor; mientras que en CDIU_LAD tanto el contenido de C estimado, como la importancia relativa de las palmas es bastante menor con respecto a los otros dos parches de bosque (figura 6). El contenido de carbono en la biomasa aérea de tallos con DAP < 10 cm fue el que presentó la mayor variación entre los años de monitoreo (tablas 8, 9 y 10), presentó incrementos considerables tanto en el valor estimado por hectárea como en el porcentaje de importancia dentro de cada parcela (figura 7). Es debido a estos incrementos que la importancia relativa del carbono contenido en la biomasa de árboles de las parcelas de muestreo, disminuye entre un 5 y 9 % para el tercer año de monitoreo (figura 8).

Figura 5. Variación en el contenido total de carbono estimado en la biomasa aérea durante tres años de monitoreo en las tres parcelas permanentes



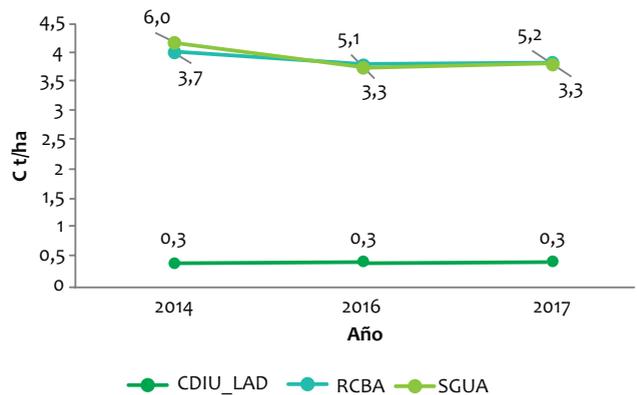
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Variación en el contenido de carbono estimado en la biomasa aérea de árboles, durante tres años de monitoreo en las tres parcelas permanentes. Los valores sobre los puntos indican el porcentaje representado por este compartimento dentro del carbono total estimado en la parcela



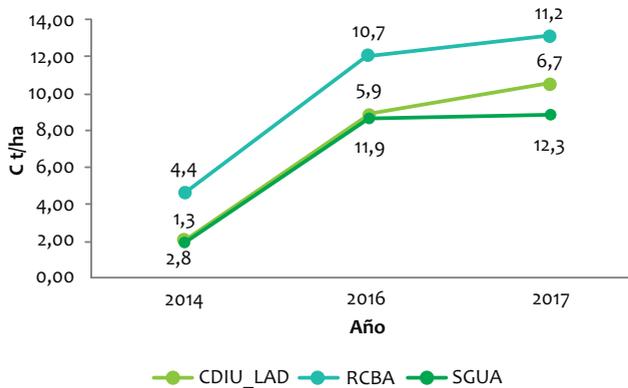
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Variación en el contenido de carbono estimado en la biomasa aérea de palmas, durante tres años de monitoreo en las tres parcelas permanentes. Los valores sobre los puntos indican el porcentaje representado por este compartimento dentro del carbono total estimado en la parcela



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Variación en el contenido de carbono estimado en la biomasa aérea de tallos con DAP < 10 cm, durante tres años de monitoreo en las tres parcelas permanentes. Los números sobre los puntos indican el porcentaje representado por este compartimento dentro del carbono total estimado en la parcela



Fuente: Elaboración propia

Discusión

Se evaluaron tres parches de bosque denso alto de tierra firme distribuidos en los municipios de San José, Retorno y Calamar con el objetivo de realizar estimaciones del contenido de biomasa aérea y carbono almacenado en tres compartimentos de vegetación leñosa. Se realizaron dos monitoreos posteriores al establecimiento de las parcelas de muestreo, donde se valoró el incremento de los parámetros evaluados.

Los valores de biomasa son acordes con otros estudios realizados en bosque húmedo tropical de la Amazonia. Brown y Lugo (1992), Cummings *et al.* (2002) Feldpausch *et al.* (2006) y Rodrigues de Souza *et al.* (2011) reportan una biomasa viva sobre el suelo de 373 t x ha⁻¹ utilizando una ecuación cuya variable descriptora es el diámetro en una cobertura de bosque húmedo tropical denso de tierra firme en Manaus, Brasil. Brown *et al.* (1995) por su parte, reporta 282 t x ha⁻¹ empleando una ecuación cuya variable descriptora es el diámetro y el mismo valor utilizando una ecuación que emplea las variables diámetro y densidad de la madera.

La vegetación evaluada presenta un mayor contenido estimado de carbono total almacenado en la biomasa aérea dentro del parche del municipio Calamar, con un

incremento de 146 a 161 t x ha⁻¹ en tres años, seguido por el parche del municipio El Retorno con un incremento de 107 a 117 t x ha⁻¹, mientras que el parche de San José del Guaviare presentó los menores valores estimados con un incremento de 73 a 75 t x ha⁻¹. Estos resultados ponen en evidencia un nivel de deforestación de los bosques mayor en San José del Guaviare, que disminuye hacia los municipios ubicados al sur, Retorno y Calamar, y sus consecuencias sobre los reservorios de biomasa aérea y carbono almacenado, que comprometen la prestación de los servicios ecosistémicos relacionados con la dinámica de este elemento.

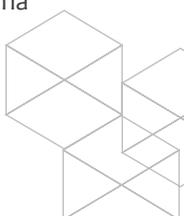
En los tres parches, la vegetación arbórea es la que contribuye en mayor medida al contenido total de carbono almacenado, entre 83 y 98 %, y en general la vegetación arbustiva (tallos con DAP < 10 cm) resultó ser más importante que las palmas, y el compartimento que presentó un mayor aumento en su proporción entre los seguimientos.

Las palmas alcanzan su mayor porcentaje dentro del contenido total de carbono en el parche de San José del Guaviare (5-6 %) y el menor en el parche de Calamar (0,3 %). Esto como consecuencia de una mayor intervención y alteración de los bosques en SJG y El Retorno, donde las palmas adquieren mayor importancia, tanto en número de individuos por hectárea, como en el valor promedio estimado de biomasa de los mismos.

Estos datos son insumos para iniciar a plantear estrategias para evitar el riesgo de la deforestación en el área de influencia del proyecto y con ello que se llegue a una conservación de los ecosistemas boscosos naturales. Se hace importante que en las estrategias intervengan actores de índole político, socioeconómico, administrativo, de capacitación y de regulación tanto gubernamental como de las comunidades locales presentes en la región.

Conclusiones

Se realizó un análisis de tres parches de bosque denso alto de tierra firme para monitoreo de incremento de biomasa distribuidos en los municipios de San José, Retorno y Calamar, mediante inventarios forestales para biomasa. El contenido de carbono medio total en la cobertura de bosque se estimó en 97 toneladas por hectárea, con una



variación de 72 a 136 t/ha entre las parcelas evaluadas, estos valores se encuentran en el rango reportado previamente en este estudio en parcelas de permanentes de muestreo (70-141 t/ha) ubicadas en los tres municipios de estudio.

La vegetación evaluada presenta un mayor contenido estimado de carbono total almacenado en la biomasa aérea dentro del parche del municipio Calamar, con un incremento de 141 a 157 t/ha en tres años, seguido por el parche del municipio El Retorno con un incremento de 107 a 117 t/ha, mientras que el parche de San José del Guaviare presentó los menores valores estimados con un incremento de 70 a 73 t/ha.

La vegetación herbácea y arbustiva en los municipios tiene una biomasa promedio de 1,69 ha⁻¹ de los cuales El Calamar es el que presenta mayor cantidad de biomasa con 1,99 tn ha⁻¹ y la menor es de San José con 0,76 tn ha⁻¹.

En los tres parches, la vegetación arbórea es la que contribuye en mayor medida al contenido total de carbono almacenado, entre 82 y 98 %, y en general la vegetación arbustiva (tallos con DAP <10 cm) resultó ser más importante que las palmas, y el compartimento que presentó un mayor aumento en su proporción entre los monitoreos. Las palmas alcanzan su mayor porcentaje dentro del contenido total de carbono en el parche de San José del Guaviare (5-6 %) y el menor en el parche de Calamar (0,3 %). Esto como consecuencia de una mayor intervención y alteración de los bosques en SJG y el Retorno, donde las palmas adquieren mayor importancia, tanto en número de individuos por hectárea, como en el valor promedio estimado de biomasa de los mismos.

Esta información, vislumbra la capacidad que tiene el bosque alto denso de tierra firme para el almacenamiento de C; en su incremento a través del crecimiento de las especies en estratos inferiores que pueden a pasar a un estrato superior cuando el propósito es acceder a los futuros incentivos económicos que favorecen el secuestro de carbono en los bosques y que se puedan generar, por ejemplo, bajo la modalidad de proyectos REDD. Este valor se encuentra dentro del rango que reportan otros estudios realizados en bosque húmedo (Amazonia, Centro América, Mata Atlántica en Brasil, Indonesia, Malasia y Gana).

Los resultados obtenidos resaltan la importancia de la conservación de la vegetación arbórea, especialmente de los individuos de mayor porte en el almacenamiento de carbono en bosques y la capacidad que tiene el bosque alto denso de tierra firme del departamento del Guaviare para prestar este servicio ecosistémico cuando no sufre de un alto grado de intervención y las dinámicas sucesionales son mantenidas.

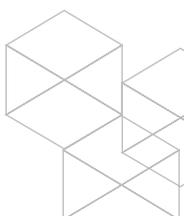
Bibliografía

- Baker**, T.R., Honorio, E., Coronado, N., Phillips, O.L., Martin, J., Van Der heijden, G.M.F., García, M. & Silva Espejo, J. (2007). Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. *Oecologia* 152; 495–504.
- Brown**, F., Martinelli, L., Wayt Thomasd, W., Moreira, M., Ferreira, C. & Victoria, R. (1995). Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 75; 175-189.
- BIOCARBON FUND**. (2008). *Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from Mosaic Deforestation*. RED-NM-001 / Version 01. 111 p.
- BOLFOR** (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible) y PROMABOSQUE (Programa de Desarrollo Forestal Industrial). (1999). *Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs)*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR. 60 p.
- Chacón**, P., Leblanc, H. A. & Russo, R. O. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical* 3(1); 39-49.
- Casanoves**, F., Pla, L. & Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Informe técnico No 384. Turrialba, CR: CATIE. 84 p.
- Chambers**, J.Q., Higuchi, N., Schimel, J. P., Ferreira, L. V. & Melack, J. M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia* 122; 380 – 388.
- Chave**, J., Condit, R., Lao, S., Caspersen, J.P., Foster, R.B. & Hubbell, S. (2003). Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Tropical Ecology* 91; 240-252.
- Chave**, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, A., Chambers, J.Q., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Les-cure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved



estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145; 87-9

- Chave, J.**, Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G. & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology* 10; 3177-3190p.
- Del Valle, J. I.**, Restrepo, H. I. & Londoño, M. M. (2011). Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia. *Biología Tropical* 59(3); 1337-1358.
- Dixon, R. K.**, S., Brown, R. A., Houghton, A. M., Solomon, M. C., Trexler & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263; 185-190.
- Emmer, I.** (2007). *Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos*. Quito, Ecuador: Proyecto Encofor. 22 p.
- Feldpausch, T. R.**, McDonald, A. J., Passos, C. A. M., Lehmann, J. & Riha, S. J. (2006). Biomass, harvestable area, and forest structure estimated from commercial timber inventories and remotely sensed imagery in southern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 233; 121-132.
- Field, C. B.**, Behrenfeld, M. J., Randerson J. T. & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281; 237-240.
- Giraldo, W.**, Cárdenas, D. & Duque, A. (2011). Alometría y crecimiento de seis especies arbóreas en un bosque de tierra firme en la amazonia colombiana. *Colombia Forestal* 14(1); 9-21.
- GOCF-GOLD.** (2009). *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and 46 degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures 47 for monitoring, measuring and reporting, GOCF-GOLD Report version COP14-2, 48*. Alberta, Canada: GOCF-GOLD Project Office, Natural Resources Canada.
- Harmon, M. E.**, Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack Jr, K. & Cummins, K. W. (1986). *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in ecological research* 15; 133 - 302.
- Higuchi, N.**, Santos, J. & Jardim, F. C. S. (1990). Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica, Manaus* 12(1); pp. 93-103, Recuperado de <http://acta.inpa.gov.br/redirect.php?volume=12&edicao=1&arquivo=v12n1a13.pdf&pasta=PDF&loc=sum>.
- IDEAM** (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: IDEAM. 420 p.
- IDEAM** (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2013). Informe técnico final de 'Estimación de contenidos de carbono para el área piloto del escenario de referencia regional que abarcaría las tres iniciativas de implementación temprana REDD+ en el Área de Manejo Especial de la Macarena (AMEM) y otras zonas de la Amazonia'. Bogotá: IDEAM. 51 p.
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2003). *Guía de buenas prácticas del uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (GBP UTCUTS). Métodos Complementarios y Orientación Sobre las Buenas Prácticas que Emanan del Protocolo de Kyoto. Capítulo 4*. 132 pg. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_languages.html
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2005). *Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, Capítulo 4*. Recueperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2005b). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*.
- Ketterings, Q. M.**, Coe, R. & Van Noordwijk, M. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146; 199-209.
- Keller, M.**, Palace, M. & Hurtt, G. (2001). Biomass estimation in the Tapajos National forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management* 154; 371-382.
- Lewis, S. L. et al.** (2004). Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50



South American long-term plots. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359; 421–436. Doi:10.1098/rstb.2003. 1431

- Likes, G.** (1981). Some perspectives of the major biogeochemical cycles. New York: Mimeo.
- Mahibbur, R. M. & Govindarajulu, Z.** (1997). A modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. *Journal of Applied Statistics* 24(2); 219-235.
- Márquez, L., Roy, A. Castellanos, E., Arreaga A. & Arévalo, M.** (2000). *Elementos técnicos para inventarios de carbono en el uso de suelo*. Guatemala: Fundación solar.
- Nebel, G., Dragsted, J. & Vegas, A. S.** (2001). Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forest in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management* 150; 93-102.
- Patiño, S., Lloyd, J., Paiva, R., Quesada, C. A., Mercado, L. M., Baker, T. R., Czimczik, C. I., Schwarz, M., Schmerler, J., Sota, A., Santos, A., Horna, V., Peacock, J., Wagner, M., Arroyo, L., Almeida, S., Alvarez, E., Aguilar, A., Bonal, D., Gallo, J., Herrera, R., Higuchi, N., Hoyos, E. J., Jimenez, E. M., Killeen, T., Leal, E., Luizaño, F., Malhi, Y., Meir, P., Monteagudo, A., Neill, D., Nuñez, V. P., Palomino, W., Peña-Cruz, A., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Pitman, N. L., Priante, F. N., Prieto, A., Panfil, S. N., Rudas, A., Salomao, R., Silva, N., Silveira, M., Lezama, A., Turriago, J. D., Vasquez-Martinez, R., Vieira, I., Villanueva B. & Vitzthum, P.** (2008). Branch xylem density variation across the Amazon Basin. *Biogeosciences. Discuss* 5; 2003-2047.
- Paul, E. & Clark, F.** (1989). *Soil microbiology & biochemistry*. Londres: Academy Press.
- Phillips J. F., Duque A. J., Yepes A. P., Cabrera K. R., García M. C., Navarrete D. A., Álvarez E. & Cárdenas D.** (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. 68 pp.
- Rodrigues de Souza, C., De Azevedo, C., Brum, L., Da Silva, K., Dos Santos, J. & Higuchi, N.** (2011). Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus. *Acta Amazonica* 42(4).
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L. & Porro R.** (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Lima: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.
- Schlegel, B., Gayoso, J. & Guerra, J.** (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para inventarios*. Recuperado de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/proyectos_desarrollo_medicion_captura_carbono_bosques_chile.pdf
- Schelesinger, W.** (2005). *Biogeochemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Segura, M. & Andrade, H.** (2012). *Importancia, uso y construcción de modelos alométricos de biomasa*. En: Curso ‘Herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra’. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Silva, J. N. M.** (1980). *Eficiencia de diversos tamanhos de formas de unidades de amostra aplicados em inventário florestal na região de Tapajos*. Curitiba. (Tese de Mestrado – Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná).
- Somarriva, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Deheuvels, O., Davila, H., Espin, T., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C. & Say E.** (2012). *Carbono en sistemas agroforestales de caca en Centro América*. En: Curso ‘Herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra’. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Vallejo, A.** (2009). *Cambio climático, bosques y uso de la tierra*. En ‘Curso Formulación de Proyectos MDL Forestal y Bioenergía’. Buenos Aires, Argentina.
- Vallejo, A.** (2009). *Cuantificación de carbono en proyectos REDD*. En Seminario – taller REDD - Metodologías, Experiencias y Perspectivas Latinoamericanas. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Walker, B., Kinzig, A. & Langridge, J.** (1999). Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems* 2; 95–113.
- Wardle, D. A., Walker, L. R. & Bardgett, R. D.** (2004). Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science* 305(5683); 509-513.
- Wittaker, R. & Likens, G.** (1975). Carbon in the biota. In: G. M. Woodwell & E. V. Pekar (eds.) *Primary productivity*. Springfield, Virginia: C. O. N. F., U.S. Atomic Energy Commissions.
- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C. & Ordóñez, M. F.** (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. 162 p.



7.

Rasgos Hidrológicos Asociados a la Arquitectura de los Bosques Altos Densos del Guaviare

Luisa Pinzon, Jaime Barrera, Juan Vitar,
Sandra Castro y Bernardo Giraldo



Resumen

La prestación de servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH) de relictos de bosque alto denso de tierra firme del departamento del Guaviare, se adelantó considerando metodologías de estudios realizados a escala local consistentes en estimar los ingresos representados en el escurrimiento bajo el dosel del bosque, la intercepción del agua lluvia y el escurrimiento fustal y los egresos como el contenido de humedad en el suelo y la evapotranspiración en parcelas de 0,25 m². De estas variables se realizó el monitoreo para el periodo comprendido entre septiembre de 2015 y agosto de 2016. La estimación para los ingresos representados en el escurrimiento bajo el dosel del bosque y la intercepción del agua lluvia se realizó instalando pluviómetros caseros y la medición de rasgos de copa dentro de las parcelas de caracterización de la vegetación. El escurrimiento medio semanal bajo el dosel para el ecosistema se estimó en 42,11 mm de 64,14 mm de la precipitación media semanal incidente; esta cantidad representa el 64,14 % de la lluvia bruta, ejercido en el SEH. El escurrimiento fustal medio semanal para el período de estudio se estimó en 0,58 mm, que corresponde al 0,90 % de la precipitación semanal incidente. La intercepción de agua lluvia media semanal por parte del dosel se estimó en 24,06 mm, que representa el 37,52 % de la precipitación incidente media semanal. Este estudio de regulación y ecología funcional hídrica permite conocer la dinámica de la precipitación incidente en un ecosistema boscoso, aporta información a la estabilización del ciclo hidrológico y determina hasta qué punto se ven involucradas las especies vegetales en la captación y almacenamiento de la lluvia

Palabras clave: rasgos, hidrología, precipitación, regulación, bosques

Introducción

El cambio climático hará disminuir el agua disponible para la agricultura y el aumento de las temperaturas se traducirá en una mayor demanda de agua para cultivos, lo que traerá graves consecuencias en la disponibilidad de este recurso para la producción de alimentos (FAO, 2011). La capacidad de los ecosistemas para infiltrar el agua lluvia, sostener los acuíferos, y evitar la erosión es clave para la prestación de servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH), especialmente en los trópicos hú-

medos, donde los flujos de agua puede ser muy altos (MEA, 2005). Las plantas leñosas son consideradas para mejorar estos SEH en comparación a los sistemas de cultivo intensivo tradicional (Ataroff & Monasterio 1997; Vaast et al., 2005; Siles et al., 2010), pero es crucial la verificación y cuantificación de esta hipótesis en estudios que se realicen para la conservación de bosques. Una potencial negociación tras los pagos por servicios ecosistémicos se facilitaría entre proveedores y compradores cuando el servicio, o el impacto de una determinada práctica en la prestación del servicio, estén claramente evaluados. Sin embargo, no hay una investigación cuantitativa a fondo de los vínculos entre el uso del suelo, la cobertura forestal y la hidrología (Anderson et al., 2006).

De acuerdo con ello, existe la necesidad de evaluar los principales procesos hidrológicos para entender el comportamiento de los compartimentos acuáticos del ecosistema, por ejemplo la infiltración, escurrimiento por el tronco y la lluvia que pasa a través del dosel del bosque (Gómez-Delgado et al., 2010). El escurrimiento a través del dosel del bosque y el escurrimiento por el fuste son insumos que constituyen la mayoría de la precipitación incidente y son de vital importancia para los ecosistemas boscosos. En la mayoría de los casos, estos representan de 70 a 90 % de la precipitación de entrada (Levia & Frost, 2003). Trabajos recientes han documentado los efectos demostrables de escurrimiento bajo el dosel del bosque y escurrimiento por el tronco a la hidrología (Keim et al., 2006a; Liang et al., 2009). Liang et al. (2009), por ejemplo, han informado que el escurrimiento por el tronco ha llevado a un proceso de infiltración y flujo inducido a la raíz de las plantas en laderas, un mecanismo acoplado denominado “doble canalización” (Johnson & Lehmann, 2006). El escurrimiento por el tronco también se ha documentado para contribuir al enriquecimiento de los suelos debajo de arbustos en climas semiáridos, dando lugar a un efecto de “isla fértil” (Whitford et al., 1997).

En este sentido los SEH cobran importancia para el adecuado funcionamiento de los sistemas productivos en cuanto a su relación con el aprovisionamiento hídrico. Por lo cual se planteó en la presente investigación evaluar el proceso de intercepción de la lluvia por la cobertura boscosa, el efecto de las características de las plantas y los rasgos funcionales de la copa de



los árboles y el escurrimiento fustal sobre dicho servicio de especies priorizadas en relictos de bosque con cobertura de bosque alto denso de tierra firme presentes en fincas del departamento del Guaviare.

Este conocimiento es importante para la planeación y manejo de los sistemas productivos especialmente en aquellas zonas donde existen periodos de deficiencia prolongada de agua, o con períodos críticos por deficiencia o exceso de agua durante eventos climáticos como El Niño y La Niña (Jaramillo, 2005).

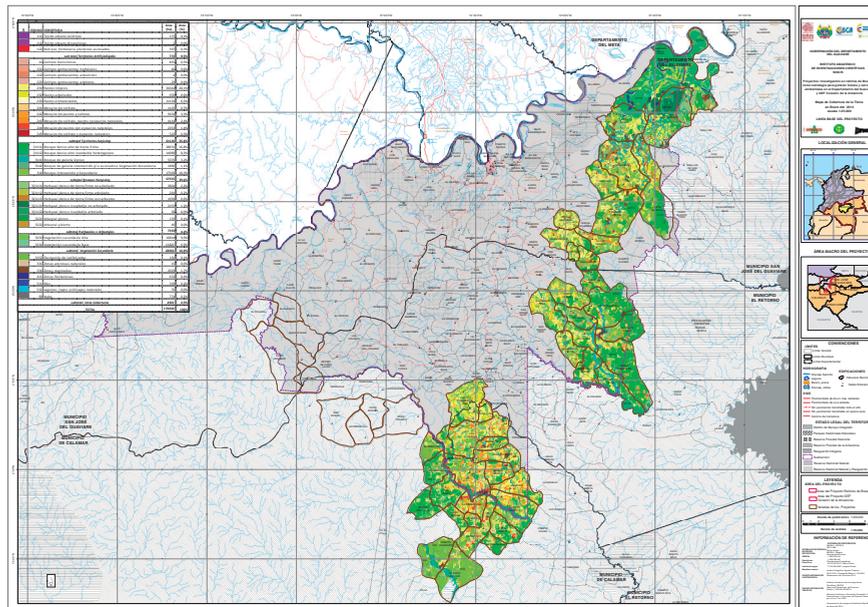
Materiales y métodos

Área de estudio

En el área de influencia (figura 1) el régimen de la precipitación es monomodal, caracterizado por un periodo seco entre diciembre y enero con un promedio de 124,65 mm mensuales y uno lluvioso entre abril y julio con un promedio de 374,35 mm mensuales (Registros históricos de IDEAM 20 años), con algunas épocas intermedias

de menor precipitación debido al paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (SINCHI 2010). La figura 2 muestra los registros de precipitación mensual del periodo comprendido entre 1987 a 1996 y 2001 a 2014 de la estación meteorológica El Trueno localizada en el municipio del Retorno, y entre el periodo comprendido entre 2010 a 2013 de la estación meteorológica Arazá localizada en el municipio de San José. A su vez, se presenta un período de altas temperaturas entre octubre y marzo con un promedio de 25,78 °C y otro periodo con una temperatura media mensual de 24,72 °C (Registros históricos de IDEAM 20 años). Para el departamento de Guaviare la media anual de la humedad relativa es de 84,3 %, con el valor más alto en los meses de mayo a julio. El valor mínimo de humedad es de 79,8 % y se presenta en el mes de enero. La distribución temporal del brillo solar tiene valores máximos durante los meses de septiembre a enero (oscila entre 140 y 160 horas), en el periodo seco, y valores mínimos en los meses de abril a julio (100 horas), correspondiente a la temporada de lluvias (SINCHI, 2010).

Figura 1. Mapa del área del proyecto (SINCHI, 2015)



Fuente: Elaboración propia

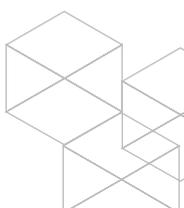
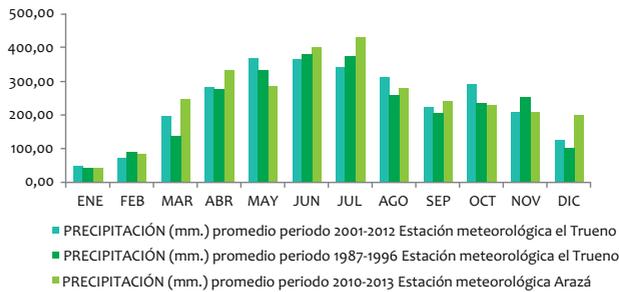


Figura 2. Registros de precipitación promedio mensual (mm) para los periodos 1987-1996 y 2001-2014 de la estación meteorológica El Trueno, municipio del Retorno; y la estación meteorológica Arazá Guaviare periodo 2010-2013



Fuente: Elaboración propia

Servicios hidrológicos asociados a arquitectura de los bosques (SEH)

La disponibilidad de agua depende de la cantidad de agua (precipitación) que entre al ecosistema (Luman, 2001) y salidas del mismo. Para el monitoreo del SEH, se midió el escurrimiento bajo el dosel del bosque, el escurrimiento fustal de individuos arbóreos de especies priorizadas por frecuencia y dominancia, rasgos funcionales relacionados con la arquitectura de la copa. Se evaluó la interceptación por las copas de los árboles, que representa la proporción de la precipitación que no alcanza a escurrir a través del dosel del bosque y luego es evaporada, así como el microclima, la humedad del suelo y se calculó la evapotranspiración. Las evaluaciones se llevaron a cabo durante un año desde septiembre de 2015 y hasta agosto de 2016.

Escurrecimiento (E)

Se define como la precipitación que pasa directamente a través del dosel o es interceptada inicialmente por superficies vegetativas sobre el suelo y, posteriormente, gotea desde el dosel. Para su medición se utilizaron pluviómetros caseros construidos con botellas plásticas con capacidad de 2,5 litros, embudos plásticos de 11,8 cm de diámetro y área de recepción de 95,03 cm² a los cuales se adaptó un tubo de PVC de media pulgada con el fin de reducir la posible evaporación de las muestras de agua. Los embudos fueron adheridos a botellas y protegidos inicialmente con una malla plástica con el fin de evitar la caída al interior de los pluviómetros de flores, animales u hojas lo cual pudiera interrumpir el ingreso del agua a la botella. Los pluviómetros se anclan al suelo sujetos de un tubo de PVC de media pulgada (figura 3).

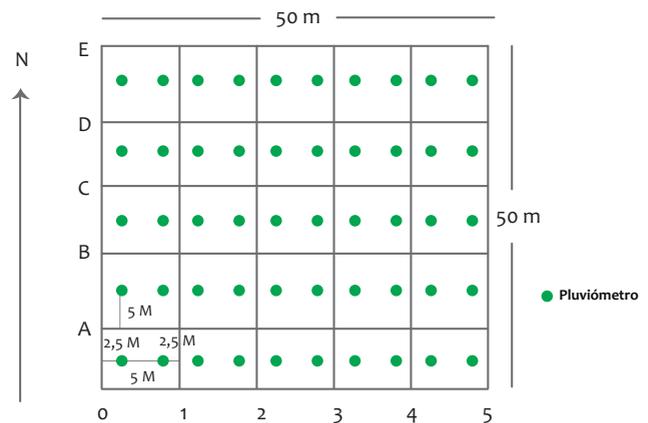
Figura 3. Pluviómetro diseñado para coleccionar y medir agua lluvia bajo el dosel del bosque



Fuente: Elaboración propia

Los pluviómetros se instalaron en 5 parcelas semipermanentes demarcadas en la fase de caracterización de vegetación del proyecto. Se distribuyeron 50 pluviómetros en la parcela de 50 x 50 m situando 2 en cada subcuadrante como se muestra en la figura 4

Figura 4. Representación esquemática de la disposición de cincuenta pluviómetros para medir el escurrimiento e interceptación de agua lluvia en el bosque alto denso de tierra firme en los sitios de la investigación en el departamento de Guaviare. Esta disposición, dentro de un subcuadrante de 10 x10 m se repitió cinco veces para un total de 250 pluviómetros



Fuente: Elaboración propia

Las mediciones en campo se realizaron una vez a la semana y fueron registrados inicialmente en formatos prediseñados y posteriormente digitada en una base de datos de Excel. En total se monitorearon y evaluaron 48 semanas comprendidas entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de agosto de 2016. Este monitoreo se realizó

en cinco parcelas distribuidas en los tres municipios del área de estudio (tabla 1); se registró la cantidad de agua transferida (escurrimiento) bajo el dosel del bosque alto denso de tierra firme.

Tabla 1. Parcelas de evaluación de escurrimiento e intercepción de las copas de árboles en el departamento del Guaviare

| Municipio | Parche | Parcela |
|-----------|-----------------|-------------|
| San José | SGUA | SGUA/P14C |
| Retorno | RLMO | RLMO/P3_Bo2 |
| Retorno | RCME | RCME/o8C |
| Retorno | RCBA | RCBA/11C |
| Calamar | CLAD (CDIU_LAD) | CLAD/o3B |

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo final de la cantidad de lluvia transferida a través de la copa de los árboles o E se aplicó la siguiente fórmula teniendo en cuenta el área de recepción de los pluviómetros (95,03 cm²).

$$E = \frac{\text{Cantidad de agua lluvia recolectada en el pluviómetro (cm}^3\text{)}}{\text{Área de recepción del pluviómetro (95,03 cm}^2\text{)}} \times 10$$

Ecuación 1

Donde: E = agua lluvia transferida por el dosel del bosque en mm
1 ml = 1 cm³

Escurrecimiento fustal (EF)

Es la precipitación que drena de las hojas periféricas y ramas y se canaliza al tronco (o tallo) de plantas. Se midió sobre cinco árboles de las nueve especies priorizadas para la evaluación de rasgos funcionales. Para la selección de los individuos se tuvo en cuenta la mayor área basal de los individuos arbóreos. El escurrimiento se midió utilizando collarines contruidos con mangueras de plástico transparentes con un grosor de 3 mm. Las mangueras se cortaron por la mitad para ser instaladas en una espiral ascendente en el tronco de cada árbol seleccionado. El agua recogida por el collarín fue desviada por una manguera sin cortar a un contenedor cerrado

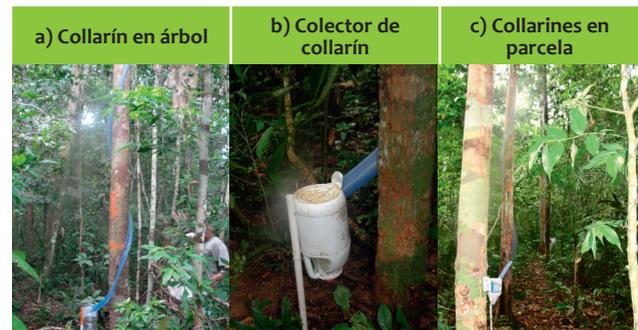
colocado en la parte baja del árbol (figura 5). Se midió el volumen de escurrimiento por el tronco de cada árbol, un día a la semana durante 48 semanas comprendidas entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de agosto de 2016. Para estimar el escurrimiento semanal por el tronco de árboles obtenido en una hectárea de bosque (mm semanales), se mide el volumen de escurrimiento por el tronco por árbol y por semana (cm³) y se relaciona con la densidad de árboles o número de tallos con DAP > 10 cm por ha mediante la siguiente ecuación:

$$EF = \frac{\text{Agua colectada por árbol (cm}^3\text{)} \times \text{\#árboles por ha}}{10000000}$$

Ecuación 2

Donde: EF = agua lluvia escurrida en mm para una hectárea de bosque

Figura 5. Collarines instalados en árboles de las diez especies priorizadas por mayor frecuencia y dominancia en bosque alto denso de tierra firme del departamento del Guaviare

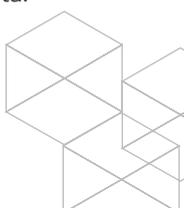


Fuente: Elaboración propia

Arquitectura de la copa y rasgos funcionales

Se midieron en campo variables generales de los individuos para tomar la información correspondiente a siete rasgos funcionales de las bases de datos del proyecto (caracterización de la vegetación y rasgos funcionales).

Las características de la planta y los rasgos funcionales de la copa medidos en campo correspondieron a: diámetro de copa (DC), medido con cinta métrica; altura total



del árbol (TH) y altura del fuste (AF), y altura de la copa (CH), las cuales fueron estimadas con una regla extensible, se calculó también la densidad de la copa (DenC). Para la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) se utilizó una cinta diamétrica. La forma de copa (FC) de los árboles, se obtuvo calculando la razón que existe entre el diámetro de la copa y la altura de la copa; clasificándolas en: a) elíptica horizontal, b) elíptica vertical y c) circular (tabla 2). Se evalúa la relación de estos rasgos con el escurrimiento fustal registrado para las nueve especies priorizadas en las parcelas de evaluación.

Tabla 2. Formas de copa según la razón diámetro de copa y la longitud de la copa

| Razón diámetro de copa / longitud o altura de copa | | Forma |
|--|---------------------|---|
| Mayor que 1 | Elíptica horizontal |  |
| Menor que 1 | Elíptica vertical |  |
| Igual a 1 | Circular |  |

Fuente: Elaboración propia

Intercepción de las copas de árboles (ICA)

La intercepción es la captura de la precipitación por el dosel de las plantas y su posterior regreso a la atmósfera a través del proceso de evaporación (Pidwirny, 2006), expresada en términos absolutos en mililitros (ml) y ajustada a un valor determinado por la capacidad de almacenamiento de la cobertura, dependiendo de la estructura y la densidad de la vegetación y principalmente de la arquitectura de la copa; o expresada en términos relativos, como un porcentaje de la precipitación incidente (P) (Stadtmüller, 1994), la cual corresponde a la lluvia que ingresa al sistema proveniente de las nubes sin pasar por una cubierta vegetal (Jiménez, 2009).

El porcentaje promedio de intercepción de la lluvia se realizó a partir de las diferencias medias de la precipitación incidente registrada (P) menos la precipitación neta, que corresponde a la suma del escurrimiento bajo el dosel del bosque (E) y el escurrimiento fustal (EF).

$$ICA = P - (E + EF)$$

Ecuación 3

Microclima

Durante el curso diario se midieron las siguientes variables microclimáticas: radiación solar (RS, $W \times m^{-2}$), (Sensor LI-190, USA), temperatura del aire (Sensor THR-102, USA), precipitación (ppt, mm), humedad relativa del aire (Sensor THR-102, USA) y la velocidad del viento con un anemómetro (V, m/s y ° Dirección) a una altura de 2 m. Para realizar estas mediciones se utilizó una microestación (Colteín, COL) compuesta de dispositivos de censado y registro automático (dataloggers marca Decagon Devices, Inc USA) y una herramienta de software (Decagon Devices, Inc, USA) para la descarga de los datos de las mediciones a una computadora.

Humedad del suelo

Se midió en cada parche con los sensores de humedad EC-5 Soil Moisture, el lector ProcCheck versión 1,0 de Decagon Devices, Inc. Los valores se registran de forma automática a un registrador de datos en Excel.

Evapotranspiración

La evapotranspiración describe dos procesos de pérdida de agua desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, evaporación y transpiración. La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y es removida de fuentes como la superficie del suelo, la vegetación húmeda, el pavimento, o los cuerpos de agua (Zotarelli et. al, 2010). La transpiración consiste en la vaporización de agua líquida dentro de la planta y su subsecuente pérdida como vapor a través de los estomas de las hojas. La evapotranspiración de referencia o evapotranspiración potencial (ET_o) se define como la tasa a la cual el agua del suelo disponible es vaporizada desde una cobertura vegetal específica (Jensen et. al, 1990). ET_o se estimó a partir de la Ecuación FAO Penman-Monteith (Penman, 1948; Allen et al., 1998) con entradas de velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar a partir de los valores de la estación meteorológica instalada en el campo abierto.



$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \frac{1 + 0,4 u_2}{u_2}} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
 R_n = radiación neta en la superficie (MJ m⁻² día⁻¹)
 R_a = radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
 G = flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
 T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
 u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
 e_s = presión de vapor de saturación (kPa)
 e_a = presión real de vapor (kPa)
 e_s - e_a = déficit de presión de vapor (kPa)
 Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
 (Cuadro 2.4 de Allen *et al.* (1998))
 γ = constante psicométrica (kPa °C⁻¹)

Déficit de presión de vapor derivada de la humedad relativa máxima y mínima:

$$e_a = \frac{[(T_{min}) HR_{max}/100 + (T_{max}) HR_{min}/100]}{2}$$

Ecuación 5

Para mayor información sobre los procedimientos para desarrollar la ecuación 4, ver Zotarelli *et al.* (2010).

Procedimiento para el balance hídrico

El cálculo del balance hídrico se realizó de acuerdo con los ingresos y salidas de agua al ecosistema de la cobertura vegetal teniendo como referencia a García-Olmos (2007). El procedimiento se realizó para cada una de las parcelas para el período del año evaluado. La diferencia entre ingresos y egresos de agua al ecosistema se expresa según la ecuación:

$$\Delta WS = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

Ecuación 6

En las entradas totales (P) la precipitación total se separa por efecto de la cobertura vegetal en precipitación interna al bosque o escurrimiento (E), interceptación de la copa (ICA) y escurrimiento fustal (EF).

$$P = E + EF + ICA$$

Ecuación 7

El total de agua que llega hasta la superficie del terreno (LLs) es la suma de E más EF. LLs se descompone en un volumen que se infiltra (F) y uno que se escurre superficialmente. A su vez el volumen que se infiltra (F) se reparte en agua que es absorbida como humedad del suelo (ΔW), agua gravitacional (Ag) que es la que escurre al suelo, cuando este llega a su capacidad de campo y va a alimentar las aguas subterráneas y la que se evapotranspira (ET) por efecto de la demanda de agua de los árboles y demás vegetación, la radiación solar y el viento principalmente:

$$F = \Delta W + Ag + ET$$

Ecuación 8

En síntesis, haciendo la diferencia entre entradas y salidas, el balance de agua en el suelo queda:

$$\Delta WS = E + EF - E_{sd} - Ag - ET$$

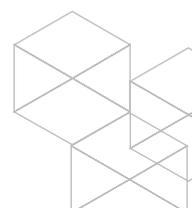
Ecuación 9

Para el presente análisis se presenta el cálculo del balance hídrico relacionando el agua de entrada (LLs) con la ET estimada (ET_o), para de esta forma realizar una aproximación de la proporción de la precipitación que queda disponible en el suelo del bosque para ser infiltrada.

Análisis de los datos

Los análisis estadísticos se realizaron con diferentes estadísticos en el software *InfoStat V. 2017*. Se emplearon análisis de varianza (ANOVA) para DC (apertura de copas) y contenido de humedad del suelo (CHS) para comparar las diferencias entre parches.

Se realizó un análisis de varianza usando modelos mixtos para evaluar el efecto del dosel del bosque en el



escurrimiento y de las especies priorizadas sobre el escurrimiento fustal para estimar el escurrimiento total a escala de parcela y poderlo extrapolar al parche. Este último análisis se realizó a partir de las diferencias medias obtenidas entre la cantidad de lluvia recolectada bajo el dosel o escurrimiento total y fuera de la copa o precipitación a cielo abierto por tratarse de una combinación de efectos aleatorios (individuos de las especies evaluadas y las lecturas semanales de los pluviómetros) y fijos (las nueve especies priorizadas).

Resultados y análisis

En el presente análisis se muestran los resultados de cinco parcelas de muestreo de 50 x 50 m (0,25 ha) equivalente a 1,25 ha establecidas en la cobertura de bosque denso alto de tierra firme y distribuidas en tres municipios del departamento de Guaviare (tabla 3). En la tabla cuatro se presentan los resultados del inventario de individuos y registro de variables estructurales en los cinco parches de bosque evaluados.

Tabla 3. Área, altitud y coordenadas geográficas de las parcelas de evaluación de los parámetros de regulación hídrica, establecidas en el bosque denso alto de tierra firme, departamento del Guaviare

| No | Código parcela | Parche | Municipio | Área (m ²) | Altitud (msnm) | Coordenadas Geográficas | |
|----|----------------|--------|-----------|------------------------|----------------|-------------------------|-------------|
| | | | | | | Latitud | Longitud |
| 1 | SGUA/P14C | SGUA | San José | 2500 | 355 | 02 27 05,20 | 72 31 09,40 |
| 2 | RLMO/P3_Bo2 | RLMO | Retorno | 2500 | 214 | 02 17 59,30 | 72 26 34,00 |
| 3 | RCME/o8C | RCME | Retorno | 2500 | 234 | 02 14 10,60 | 72 29 46,8 |
| 5 | RCBA/11c | RCBA | Retorno | 2500 | 193 | 02 11 9,60 | 72 28 48,6 |
| 6 | CLAD/o3B | CLAD | Calamar | 2500 | 242 | 02 02 28,50 | 72 41 08,70 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Número de individuos por hectárea en relación al número de individuos muestreados por parche y área basal por hectárea en los parches de evaluación del bosque denso alto de tierra firme, departamento de Guaviare

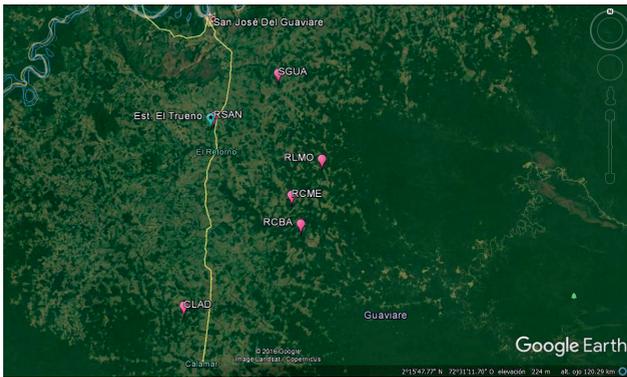
| Municipio | Parche | No de individuos | Área muestreada (ha) | No de individuos ha-1 | DAP promedio (cm) | Área basal (m ²) ha-1 |
|--------------|--------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|
| San José | SGUA | 397 | 0,75 | 529,333 | 17,98 | 18,8 |
| Retorno | RLMO | 826 | 1,50 | 550,67 | 19,65 | 25,69 |
| Retorno | RCME | 401 | 0,75 | 534,67 | 18,57 | 21,48 |
| Retorno | RCBA | 551 | 1,25 | 440,8 | 17,41 | 22,56 |
| Calamar | CLAD | 491 | 1 | 491 | 19,8 | 20,7 |
| Total | | 2666 | 5,25 | 2546,5 | | 109,2 |

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de valorar la relación entre los parámetros de la regulación hídrica evaluados con la precipitación incidente, se utilizarán los valores diarios de precipitación registrados por la estación meteorológica ubicada en la estación experimental El Trueno (figura 5), proporcionados por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM (2017). La figura 6 muestra los valores de precipitación total mensual para el período de monitoreo (septiembre de 2015 - agosto de 2016) registrada por esta estación, en relación con los valores mensuales promedio entre los años 2010 y 2016, registrados por la estación El Trueno y por la estación San José del Guaviare entre 2010 y 2015.

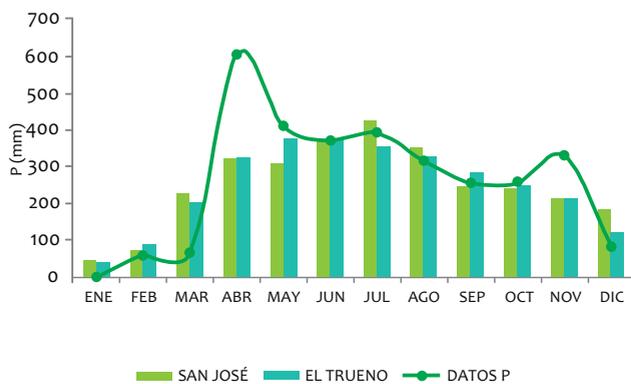


Figura 5. Ubicación de las parches de bosque denso alto de tierra firme evaluados y de la estación “El Trueno”



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Precipitación mensual promedio registrada en las estaciones meteorológicas San José del Guaviare (2010-2015) y El Trueno (2010-2016) y valores de precipitación total mensual (Datos P) registrados por la estación El Trueno para el período de evaluación (Sep/2015 – Ago/2016)



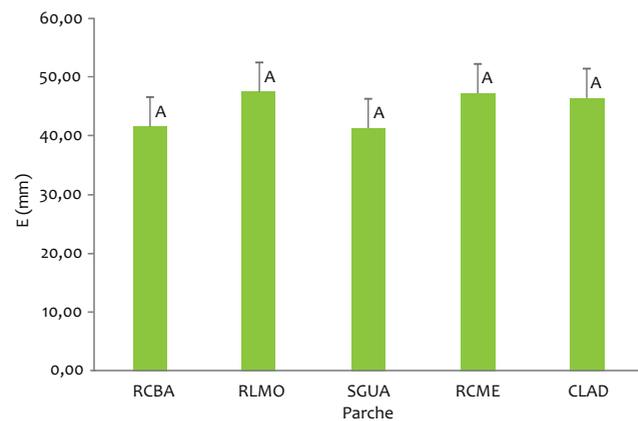
Fuente: Elaboración propia

Escurrencimiento (E)

El escurrencimiento semanal promedio, bajo el dosel del bosque registrado entre septiembre de 2015 y agosto de 2016, fue 42,11 mm (con rangos de 37,21 mm/sem en el parche RCBA a 45,38 mm/sem en el parche CLAD) (figura 7). Cabe mencionar, que este valor no incluye los registros de la parcela RSAN, la cual fue descartada debido a que la imposibilidad de continuar su monitoreo a partir del mes de abril de 2016, lo que no permitió registrar el escurrencimiento en los meses de mayor precipitación, siendo la precipitación media semanal registrada

en esta parcela 27,40 mm (sep/15 – abr/16). El valor de escurrencimiento semanal promedio registrado corresponde al 65,7 % de la precipitación incidente media semanal registrada durante el período de evaluación (64,14 mm), con rangos de 58,0 % en la parcela RCBA, a 70,8 % en la parcela CLAD (tabla 5). Después de aplicar un análisis de varianza y la prueba LSD de Fisher; el escurrencimiento medio semanal entre las parcelas no presenta diferencias significativas ($p=0,886$).

Figura 7. Escurrencimiento medio semanal bajo el dosel de bosque denso alto de tierra firme, en cinco parches de evaluación para el período sep/15 – ago/16



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Escurrencimiento medio semanal en cada parche evaluado y relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio

| Municipio | Parche | E medio mm/sem | % E/P |
|--------------|--------|----------------|-------------|
| San José | SGUA | 42,16 | 65,7 |
| Retorno | RLMO | 40,65 | 63,4 |
| Retorno | RCME | 42,35 | 66,0 |
| Retorno | RCBA | 37,21 | 58,0 |
| Calamar | CLAD | 45,38 | 70,8 |
| Media | | 42,11 | 65,7 |

Fuente: Elaboración propia

La relación entre el escurrencimiento bajo el dosel (E) y la precipitación incidente (P), se muestra en la figura 8., El análisis de regresión lineal indicó una relación directamente proporcional significativa entre estas dos variables ($p<0,0001$, $R^2=0,94$). Cada punto de este

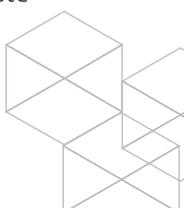
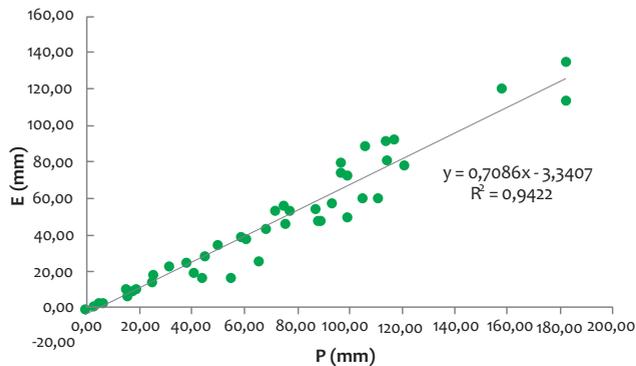


gráfico corresponde al promedio semanal de E en los cinco parches evaluados, en relación con la precipitación incidente registrada en la semana correspondiente. Con el fin de evaluar la relación porcentual entre el escurrimiento y la precipitación incidente en función de la precipitación, se realizó un análisis de varianza entre los valores promedio de la relación %E/P de cada mes, mostrando que el porcentaje de la precipitación incidente que escurre bajo el dosel del bosque tiende a incrementar en los meses lluviosos ($p < 0,0001$) (tabla 6). Adicionalmente, al realizar un análisis de regresión lineal, se encontró una relación directamente proporcional significativa entre la precipitación incidente semanal promedio, y el porcentaje de esta precipitación que corresponde al escurrimiento bajo el dosel del bosque ($p < 0,0001$, $R^2 = 0,35$) (figura 9).

Figura 8. Escurrimiento medio semanal bajo el dosel de bosque denso alto de tierra firme en cinco parches de evaluación, en relación con la precipitación semanal promedio



Fuente: Elaboración propia

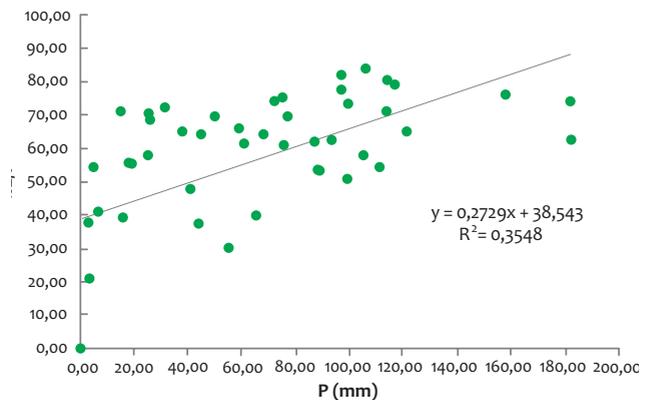


Tabla 6. Valores de precipitación incidente (P) durante el período de evaluación (Sep/2015 – Ago/2016) y relación porcentual entre el escurrimiento semanal promedio y la precipitación semanal promedio (%E/P). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio mensual de la relación %E/P en la prueba LSD Fisher, $\alpha = 0,05$ y $p < 0,0001$

| Municipio | P Mensual Total (mm) | P Semanal promedio (mm) | %E/P | |
|------------|----------------------|-------------------------|------|-------|
| Enero | 6,6 | 1,65 | 10,3 | A |
| Diciembre | 74,4 | 18,6 | 44,8 | B |
| Octubre | 258,2 | 64,5 | 46,2 | B |
| Febrero | 60,0 | 15,0 | 48,6 | B C |
| Noviembre | 334,8 | 83,7 | 49,4 | B C |
| Marzo | 127,3 | 31,8 | 60,7 | B C D |
| Abril | 486,3 | 121,56 | 64,0 | C D |
| Agosto | 238,0 | 59,5 | 65,4 | D |
| Septiembre | 256,3 | 64,1 | 67,6 | D |
| Junio | 372,0 | 93,0 | 69,1 | D |
| Julio | 394,0 | 98,5 | 71,2 | D |
| Mayo | 471,0 | 117,8 | 72,7 | D |

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Relación entre la precipitación incidente promedio semanal (P) y el porcentaje correspondiente al escurrimiento bajo el dosel del bosque (%E/P)

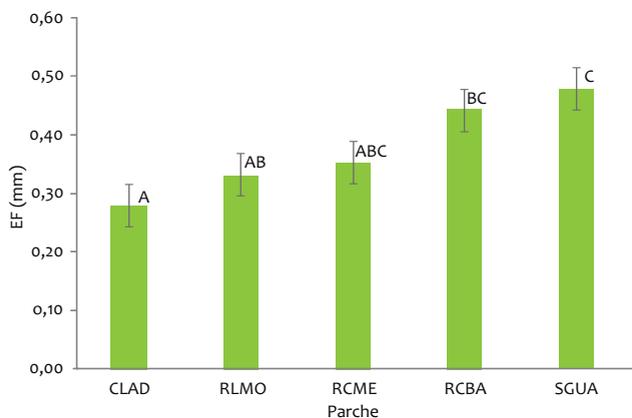


Fuente: Elaboración propia

Escurrecimiento fustal (EF):

El escurrecimiento fustal semanal promedio, registrado entre septiembre de 2015 y agosto de 2016, fue 0,37 mm (con rangos de 0,28 mm/sem en el parche CLAD a 0,48 mm/sem en el parche SGUA) (figura 10). El valor de escurrecimiento fustal semanal promedio registrado corresponde al 0,58 % de la precipitación incidente media semanal registrada durante el período de evaluación (64,14 mm), con rangos de 0,43 % en la parcela CLAD, a 0,75 % en la parcela SGUA (tabla 7). Después de aplicar un análisis de varianza y la prueba LSD de Fisher; el escurrecimiento fustal medio semanal entre las parcelas presenta diferencias significativas para los parches CLAD Y SGUA ($p=0,02$).

Figura 10. Escurrecimiento fustal medio semanal bajo el dosel de bosque denso alto de tierra firme, en cinco parches de evaluación para el período sep/15 – ago/16



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Escurrecimiento fustal medio semanal en cada parche evaluado y relación con la precipitación media semanal (P) durante el período de estudio

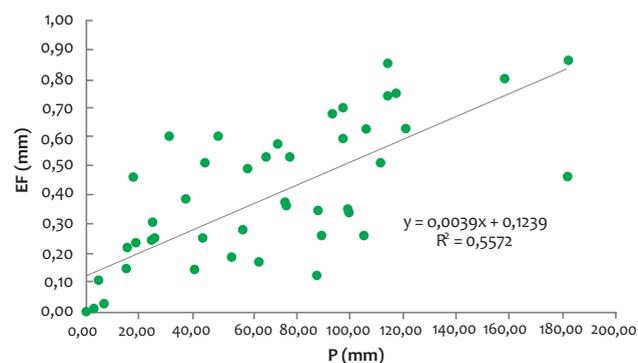
| Municipio | Parche | EF medio mm/sem | % EF/P |
|--------------|--------|-----------------|-------------|
| San José | SGUA | 0,48 | 0,75 |
| Retorno | RLMO | 0,33 | 0,52 |
| Retorno | RCME | 0,35 | 0,55 |
| Retorno | RCBA | 0,44 | 0,69 |
| Calamar | CLAD | 0,28 | 0,43 |
| Media | | 0,37 | 0,58 |

Fuente: Elaboración propia

La relación entre el escurrecimiento fustal (EF) y la precipitación incidente (P), se muestra en la figura 11, el

análisis de regresión lineal indicó una relación directamente proporcional significativa entre estas dos variables ($p<0,0001$, $R^2=0,56$). Cada punto de este gráfico corresponde al promedio semanal de EF en los cinco parches evaluados, en relación con la precipitación incidente semanal registrada. Con el fin de evaluar la relación porcentual entre el EF y la precipitación incidente en función de la precipitación, se realizó un análisis de varianza entre los valores promedio de la relación %EF/P de cada mes, mostrando que al contrario de lo que ocurre para la relación %E/P, el porcentaje de la precipitación incidente que escurre por el fuste de los árboles, tiende a disminuir en los meses lluviosos ($p<0,0003$) (Tabla 8). A su vez, al realizar un análisis de regresión lineal, se encontró una relación inversamente proporcional significativa entre la precipitación incidente semanal promedio, y el porcentaje de esta precipitación que corresponde al escurrecimiento fustal ($p<0,0008$, $R^2=0,24$) (figura 12).

Figura 11. Escurrecimiento fustal medio semanal bajo el dosel de bosque denso alto de tierra firme, en cinco parches de evaluación para el período sep/15 – ago/16



Fuente: Elaboración propia

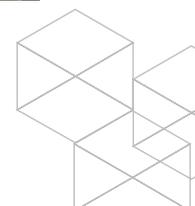
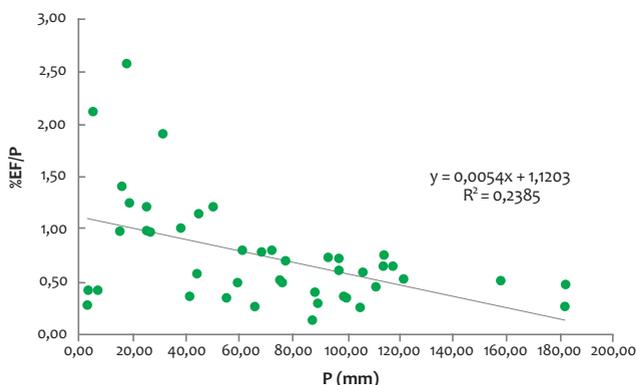


Tabla 8. Valores de precipitación incidente (P) durante el período de evaluación (Sep/2015 – Ago/2016) y relación porcentual entre el escurrimiento fustal semanal promedio y la precipitación semanal promedio (%EF/P). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio mensual de la relación %EF/P en la prueba LSD Fisher, alfa=0,05 y p=0,0003

| Municipio | P Mensual total (mm) | P Semanal promedio (mm) | %EF/P | |
|------------|----------------------|-------------------------|-------|-----|
| Enero | 6,6 | 1,65 | 0,11 | A |
| Noviembre | 334,8 | 83,7 | 0,34 | A B |
| Abril | 486,3 | 121,56 | 0,56 | B C |
| Octubre | 258,2 | 64,5 | 0,59 | B C |
| Mayo | 471,0 | 117,8 | 0,62 | B C |
| Julio | 394,0 | 98,5 | 0,65 | B C |
| Junio | 372,0 | 93,0 | 0,67 | B C |
| Febrero | 60,0 | 15,0 | 0,71 | B C |
| Septiembre | 256,3 | 64,1 | 0,71 | B C |
| Agosto | 238,0 | 59,5 | 0,82 | C D |
| Diciembre | 74,4 | 18,6 | 0,96 | C D |
| Marzo | 127,3 | 31,8 | 1,18 | D |

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Relación entre la precipitación incidente promedio semanal (P) y el porcentaje correspondiente al escurrimiento fustal (%EF/P)



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las nueve especies priorizadas, se registró un mayor escurrimiento fustal en *Goupia glabra*, *Oenocarpus bataua* y *Terminalia amazonia*, y menor en *Virola elongata* y *Pseudolmedia laevis* (tabla 9). En la

siguiente sección se evalúa la relación de rasgos relacionados con la arquitectura de la copa de estas especies, con el escurrimiento fustal registrado.

Tabla 9. Escurrimiento fustal semanal promedio de especies priorizadas en bosque alto denso de tierra firme en el periodo de evaluación (Sep/2015 – Ago/2016). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio semanal en la prueba LSD Fisher, alfa=0,05 y p=0,0003

| Especie | Rango EF (mm) | | EF (mm) | | n |
|--------------------------------|---------------|------|---------|-----|-----|
| | Min | Max | | | |
| <i>Virola elongata</i> | 0 | 0,01 | 0,23 | A | 148 |
| <i>Pseudolmedia laevis</i> | 0 | 1,32 | 0,25 | A | 563 |
| <i>Euterpe precatória</i> | 0 | 1,32 | 0,26 | A B | 52 |
| <i>Protium sagotianum</i> | 0 | 1,41 | 0,27 | A B | 435 |
| <i>Pouteria cuspidata</i> | 0 | 1,41 | 0,28 | A B | 240 |
| <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 0 | 1,42 | 0,31 | B | 265 |
| <i>Goupia glabra</i> | 0 | 1,60 | 0,47 | C | 298 |
| <i>Oenocarpus bataua</i> | 0 | 1,60 | 0,49 | C | 298 |
| <i>Terminalia amazonia</i> | 0 | 1,32 | 0,52 | C | 352 |

Fuente: Elaboración propia

Arquitectura de la copa

Las características de la arquitectura de la copa y sus rasgos funcionales pueden influir en la intercepción del agua lluvia por parte del dosel del bosque. A continuación se realiza una descripción de la caracterización de seis rasgos funcionales para nueve especies objeto de evaluación en los cinco parches estudiados (no se incluye la altura total del árbol). Al realizar los análisis de varianza respectivos (comparación LSD Fisher), los valores medios de los rasgos altura de la copa (HC) y forma de la copa (FC) no presentaron diferencias significativas entre los parches, mientras que los rasgos diámetro de la copa (DC) y área de la copa (AC), mostraron ser significativamente mayores en el parche RCME del municipio el Retorno, también la densidad de la copa mostró ser significativamente mayor en el parche SGUA (tabla 10).

Tabla 10. Principales características de arquitectura de la copa en bosque alto denso de tierra firme, DAP: diámetro altura del pecho, HC: altura de copa, DC: diámetro de copa, AC: área de copa, DenC: densidad de copa y FC: forma de copa. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio de cada parche evaluado en la prueba LSD Fisher ($p < 0,05$)

| Municipio | Parche | DAP (cm) | HC (m) | DC (m) | AC (m ²) | DenC | FC* | n |
|-----------|--------|----------|--------|---------|----------------------|---------|--------|----|
| San José | SGUA | 22,39 A | 4,12 A | 6,29 A | 35,59 A | 11,39 B | 1,91 A | 10 |
| Retorno | RLMO | 31,05 A | 6,01 A | 7,11 A | 44,72 A | 2,67 A | 1,36 A | 9 |
| Retorno | RCME | 29,71 A | 6,58 A | 10,08 B | 92,64 B | 4,37 A | 2,50 A | 15 |
| Retorno | RCBA | 28,90 A | 6,17 A | 5,40 A | 27,39 A | 5,27 A | 1,35 A | 11 |
| Calamar | CLAD | 25,32 A | 6,24 A | 6,53 A | 39,08 A | 4,46 A | 1,97 A | 18 |
| | Media | 27,47 | 5,82 | 7,08 | 47,88 | 5,63 | 1,71 | 63 |

* 1 es circular, >1 elíptica horizontal y <1 elíptica vertical

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las nueve especies priorizadas en el bosque denso alto de tierra firme (especies seleccionadas para medir el escurrimiento fustal), se evaluaron las diferencias entre los valores medios de los rasgos funcionales por medio de análisis de varianza (tabla 11). En general, las especies *Cedrelinga cateniformis*, *Terminalia amazonia* y *Goupia glabra* presentan valores altos de DAP, HC, DC y AC, mientras que *Euterpe precatória* y *Virola elongata* presentan valores bajos de estos rasgos. La densidad de la copa fue el único rasgo que no mostró diferencias significativas entre las especies. En cuanto a la forma de la copa, *Goupia glabra* es la única especie que presenta una forma cercana a la circular, para el resto de especies predomina la forma elíptica horizontal. De los 7 rasgos funcionales evaluados en individuos en los cuales fueron instalados collarines para la obtención del escurrimiento fustal, se encontró que el DAP, la altura total del árbol (TH), la altura de la copa (HC), el área de la copa (AC) y el diámetro de copa (DC), se encuentran relacionados con el escurrimiento fustal, a partir de un análisis de correlación (tabla 12).

Tabla 11. Principales características de arquitectura de la copa en bosque alto denso de tierra firme, DAP: diámetro altura del pecho, HC: altura de copa, DC: diámetro de copa, AC: área de copa, DenC: densidad de copa y FC: forma de copa. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio de cada parche evaluado en la prueba LSD Fisher ($p < 0,05$)

| Especie | DAP (cm) | HC (m) | DC (m) | AC (m ²) | DenC | FC* | n |
|--------------------------------|----------|---------|----------|----------------------|--------|---------|----|
| <i>Euterpe precatória</i> | 12,96 A | 2,19 A | 4,62 A | 19,40 A | 6,01 A | 2,70 B | 9 |
| <i>Virola elongata</i> | 13,25 AB | 4,68 AB | 4,73 AB | 19,42 A | 2,93 A | 1,11 AB | 4 |
| <i>Pouteria cuspidata</i> | 17,90 AB | 4,97 AB | 6,08 AB | 29,90 A | 5,37 A | 1,33 AB | 6 |
| <i>Pseudolmedia laevis</i> | 18,54 AB | 4,93 AB | 6,24 AB | 32,27 A | 4,81 A | 1,40 AB | 14 |
| <i>Protium sagotianum</i> | 23,18 AB | 5,79 B | 6,24 AB | 33,43 A | 7,84 A | 1,36 AB | 12 |
| <i>Oenocarpus bataua</i> | 22,10 AB | 2,84 AB | 7,66 BC | 46,92 A | 4,58 A | 4,99 C | 5 |
| <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 38,60 B | 7,20 BC | 11,35 CD | 131,75 B | 2,54 A | 1,45 AB | 2 |
| <i>Terminalia amazonia</i> | 63,88 C | 10,09 C | 12,61 D | 131,32 B | 5,04 A | 1,29 AB | 5 |
| <i>Goupia glabra</i> | 66,80 C | 14,77 D | 11,99 D | 118,94 B | 4,85 A | 0,95 A | 6 |

* 1 es circular, >1 elíptica horizontal y <1 elíptica vertical.

Fuente: Elaboración propia

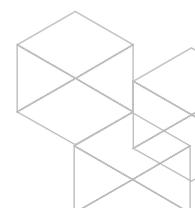


Tabla 12. Resultados correlación de Pearson entre rasgos funcionales y escurrimiento fustal, EF: escurrimiento fustal, DAP: diámetro altura del pecho, TH: altura del árbol, HC: altura de copa, DC: diámetro de copa, AC: área de copa, DenC: densidad de copa y FC: forma de copa. Coeficientes\probabilidades ($\alpha=0,05$).

| | EF | DAP | TH | HC | DC | AC | DenC | FC |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| EF | 1 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,77 | 0,42 |
| DAP | 0,68 | 1 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,48 | 0,19 |
| TH | 0,47 | 0,65 | 1 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,07 | 0,003 |
| HC | 0,51 | 0,70 | 0,75 | 1 | <0,001 | <0,001 | 0,31 | <0,001 |
| DC | 0,53 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 1 | <0,001 | 0,13 | 0,95 |
| AC | 0,45 | 0,57 | 0,62 | 0,59 | 0,97 | 1 | 0,14 | 0,74 |
| DenC | -0,04 | -0,09 | -0,23 | -0,13 | -0,19 | -0,19 | 1 | 0,96 |
| FC | 0,10 | -0,17 | -0,37 | -0,46 | -0,01 | -0,04 | -0,007 | 1 |

Valores en negrita corresponden a correlaciones significativas entre los rasgos

Fuente: Elaboración propia

Intercepción de agua lluvia por las copas de árboles (ICA)

La intercepción o captura de la precipitación semanal por el dosel de las plantas del bosque alto denso de tierra firme corresponde a 24,06 mm semanales de 64,14 mm semanales promedio de agua lluvia incidente, y representa el 37,52 % de la precipitación media semanal en el total del periodo. Entre los parches, el valor semanal de ICA varía entre 19,44 y 28,84 mm semanales, y no se presentan diferencias significativas, sin embargo la proporción de esta intercepción con respecto a la precipitación incidente sí muestra diferencias significativas entre los parches con CLAD y RCBA, con rangos que van de 30,31 % a 44,96 % (tabla 13).

Tabla 13. Intercepción de agua lluvia por las copas de los árboles (ICA) promedio semanal y su relación porcentual con respecto a la precipitación incidente (%ICA/P), registrada en los cinco parches de evaluación durante el período de estudio. Letras diferentes indican diferencias significativas en la prueba LSD Fisher, $\alpha=0,05$

| Municipio | Parche | ICA media semanal (mm) | % ICA/P |
|-----------|--------|------------------------|----------|
| San José | SGUA | 26,15 A | 40,76 AB |
| Retorno | RLMO | 24,02 A | 37,44 AB |
| Retorno | RCME | 22,34 A | 34,83 AB |
| Retorno | RCBA | 28,84 A | 44,96 B |
| Calamar | CLAD | 19,44 A | 30,31 A |
| Media | | 24,06 | 37,52 |

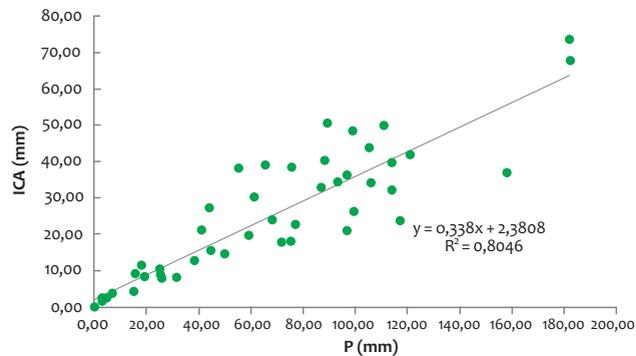
Fuente: Elaboración propia

La relación entre la intercepción (ICA) y la precipitación incidente (P), se muestra en la figura 13, el análisis de regresión lineal indicó una relación directamente proporcional significativa entre estas dos variables ($p<0,0001$, $R^2=0,80$). Cada punto de este gráfico corresponde al promedio semanal de ICA en los cinco parches evaluados, en relación con la precipitación incidente semanal registrada. Con el fin de evaluar la relación porcentual entre el ICA y la precipitación incidente en función de la precipitación, se realizó un análisis de regresión lineal, y se encon-



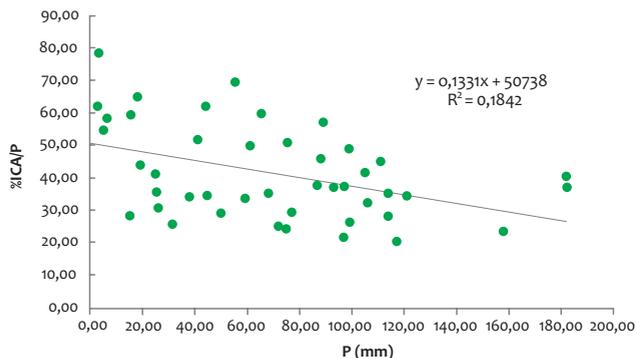
tró una relación inversamente proporcional significativa entre la precipitación incidente semanal promedio, y el porcentaje de esta precipitación que corresponde a la intercepción por el dosel del bosque ($p < 0,0037$, $R^2 = 0,28$) (figura 14).

Figura 13. Intercepción de agua lluvia por el dosel de bosque denso alto de tierra firme, en cinco parches de evaluación para el período sep/15 – ago/16



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Relación entre la precipitación incidente promedio semanal (P) y el porcentaje correspondiente a la intercepción por el dosel del bosque (%ICA/P)



Fuente: Elaboración propia

Evapotranspiración (ETo)

La evapotranspiración potencial media estimada en la zona de estudio para el periodo evaluado (septiembre de 2015 a agosto de 2016) de acuerdo con la velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar es de 3,20 mm diarios y 24,16 mm semanales. El mes con mayor ETo total fue enero y el de menor fue abril (tabla 14). Si bien la evapotranspiración mensual es menor en el mes de mayor precipitación, y tiene su va-

lor máximo en enero donde no se presentaron lluvias, no se encontró una relación significativa entre estas dos variables a partir de un análisis de correlación. Para la presente evaluación se dispone únicamente de los valores de evapotranspiración estimada (ETo) como variable de pérdida de agua hacia la atmósfera, se utiliza el valor anual total para estimar el balance hídrico en los parches evaluados, ya que al presentarse en algunos meses una mayor ETo que P no es posible realizar este análisis mensualmente (tabla 14, figura 15).

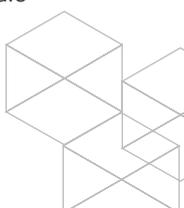
Tabla 14. Valores de evapotranspiración estimada (ETo) durante el período de evaluación (Sep/2015 – Ago/2016) mensual total y media diaria. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores promedio diarios en la prueba LSD Fisher, $\alpha = 0,05$.

| Municipio | T Mensual (°C) | P (Sep/15-Ago/16) (mm) | ETo Mensual total (mm) | ETo (mm/día) | |
|--------------------|----------------|------------------------|------------------------|--------------|---|
| Abril | 25,2 | 607,3 | 70,45 | 2,35 | A |
| Junio | 24,5 | 372,0 | 81,53 | 2,72 | B |
| Marzo | 26,4 | 66,3 | 84,74 | 2,73 | B |
| Julio | 24,0 | 394,0 | 85,15 | 2,75 | B |
| Mayo | 25,2 | 411,0 | 83,51 | 2,78 | B |
| Febrero | 26,8 | 60,0 | 89,96 | 3,10 | C |
| Agosto | 25,0 | 316,0 | 97,25 | 3,14 | C |
| Noviembre | 25,5 | 330,2 | 98,20 | 3,51 | D |
| Diciembre | 25,7 | 85,0 | 112,06 | 3,61 | E |
| Septiembre | 25,8 | 256,3 | 112,56 | 3,75 | D |
| Octubre | 25,9 | 258,8 | 114,44 | 3,81 | E |
| Enero | 27,6 | 0 | 129,91 | 4,19 | F |
| Media/Total | 25,6 | 3156,9 | 1448,92 | 3,20 | |

Fuente: Elaboración propia

Balance hídrico y regulación

El balance hídrico de la cobertura de bosque alto denso de tierra firme, expresado como la diferencia entre el agua que alcanza el suelo del bosque ($E + EF$) y la que se pierde luego como efecto de la evapotranspiración (ETo), alcanzó un total de 770,2 mm durante el año de evaluación, que representa el 25 % de la precipitación incidente registrada para dicho año (tabla 15). La figura 15 presenta el comportamiento de los valores promedio



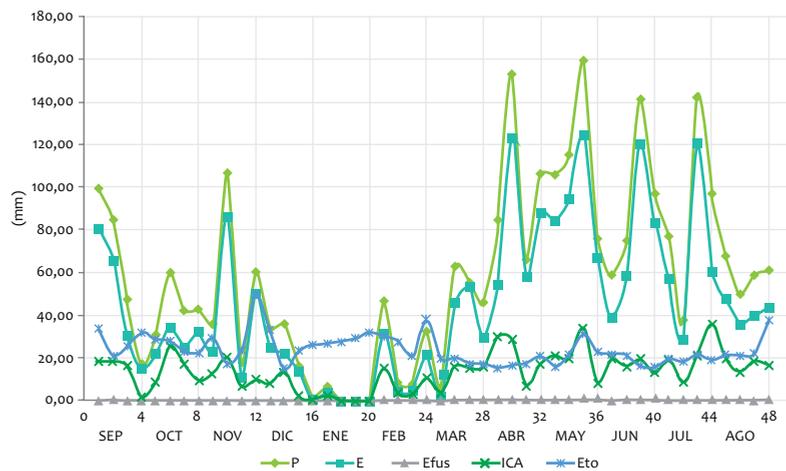
semanales de los 5 parches, para los parámetros de la regulación hídrica registrados durante el año, en relación con la precipitación semanal. El parche CLAD del municipio de Calamar, fue el que registró un mayor valor de BH que representa el 32 % de la precipitación incidente, lo que indica que tiene un mayor potencial de regulación hídrica comparado con los otros parches.

Tabla 15. Valores totales (mm) de escurrimiento bajo el dosel (E), escurrimiento fustal (EF), interceptión de lluvia (ICA) durante un año de evaluación (septiembre de 2015 a agosto de 2016) mensual por parches de bosque alto denso de tierra firme. 2016

| Municipio | Parche | P | E | EF | ICA | ETo | BH | % BH/P |
|-----------|--------|------|------|----|------|------|-------|--------|
| San José | SGUA | 3079 | 1855 | 22 | 1203 | 1160 | 717,3 | 23,3 |
| Retorno | RLMO | 3079 | 1910 | 15 | 1153 | 1160 | 766,3 | 24,9 |
| Retorno | RCME | 3079 | 1990 | 16 | 1072 | 1160 | 846,7 | 27,5 |
| Retorno | RCBA | 3079 | 1674 | 20 | 1384 | 1160 | 535,0 | 17,4 |
| Calamar | CLAD | 3079 | 2132 | 13 | 933 | 1160 | 986,0 | 32,0 |
| Media | | 3079 | 1912 | 17 | 1149 | 1160 | 770,2 | 25,0 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Variación en los valores medios semanales (mm) registrados para el escurrimiento bajo el dosel (E), escurrimiento fustal (EF), interceptión de lluvia (ICA), precipitación incidente (P) y evapotranspiración estimada (ETo), durante un año de evaluación (septiembre 01 de 2015 a agosto 31 de 2016)



Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

En el SEH, los ingresos de agua al ecosistema de Badtf en el periodo comprendido entre septiembre de 2015 y agosto de 2016 están representado en el escurrimiento y el escurrimiento fustal. El escurrimiento medio, bajo el dosel del bosque, es de 42,11 mm/sem, que representa el 65,7 % de la precipitación semanal incidente con rangos de entre 21,1 % y 83,8 %. Este porcentaje es un valor bajo comparado con estudios realizados en otras zonas de bosque lluvioso en la Amazonia, 82-87%, Colombia, (Marín *et al.*, 2000); 86-87 %, (Brasil (Ubarana, 1996); 87-91 % Brasil (Lloyd & Marques, 1988), 80,2 % Brasil (Franken *et al.*, 1992).

El porcentaje de escurrimiento semanal está directamente relacionado con la precipitación incidente, es decir a mayor precipitación aumenta la proporción que escurre a través del dosel del bosque. Este comportamiento se debe a un efecto de saturación de las copas de los árboles del agua que interceptan, la cual es proporcionalmente mayor en eventos de precipitación escasa o de corta duración, mientras que en eventos de precipitación fuerte o de larga duración, esta saturación se alcanza rápidamente y la proporción de lluvia que cae a través del dosel se incrementa.

El escurrimiento fustal medio se registró en 0,37 mm/sem, que representan una contribución bastante pequeña a la precipitación neta bajo el dosel del bosque, pues constituye un 0,58 % de la precipitación semanal incidente, con rangos entre 0,14 % y 2,58 %. Este porcentaje es

un valor cercano a los reportados en estudios realizados en otras zonas de bosque lluvioso en la Amazonia, 0,9-1,5 % Colombia, (Marín *et al.*, 2000); 0,8-1,4 % Brasil, (Ubarana, 1996); 1,8 % Brasil, (Lloyd & Marques, 1988).

A diferencia de lo observado en el escurrimiento directo, el porcentaje de escurrimiento fustal semanal está inversamente relacionado con la precipitación incidente, es decir a mayor precipitación disminuye la proporción que escurre por las ramas y troncos de los árboles. Esto estaría indicando que los eventos de precipitación suave o corta favorecen el escurrimiento por ramas y troncos, y que por el contrario en eventos de precipitaciones fuertes, una mayor proporción del agua que alcanza las copas está siendo escurrida directamente a través de estas. La relación entre el escurrimiento fustal y los rasgos funcionales asociados a la arquitectura de los árboles indican que esta variable está favorecida por valores altos de DAP, y altura y diámetro de la copa.

La intercepción media o captura de la precipitación por el dosel del bosque registrada fue 24,33 mm/sem, que representa el 37,52 % de la precipitación incidente media semanal en el periodo de evaluación. Este porcentaje es un valor alto en comparación a los reportados en estudios realizados en otras zonas de bosque lluvioso en la Amazonia, 12-17 % Colombia (Marín *et al.*, 2000); 11,6-12,9 % Brasil (Ubarana, 1996); 8,9 % Brasil, (Lloyd & Marques, 1988); 19,8 % Brasil (Franken *et al.*, 1992).

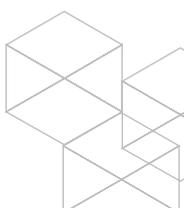


Bibliografía

- Baker**, T. R.; Honorio, E. Coronado; N., Phillips, O. L., Martin; J., Van Der Heijden; G.M.F., García, M. & Silva Espejo; J. (2007). Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. *Oecologia* 152; 495 – 504.
- Brown**, F.; Martinelli, L.; Wayt Thomasd, W.; Moreira, M.; Ferreira, C. & Victoria, R. (1995). Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 75; 175-189.
- BIOCARBON FUND.** (2008). *Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from Mosaic Deforestation*. RED-NM-001 / Version 01. 111 p.
- BOLFOR** (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible) y PROMABOSQUE (Programa de Desarrollo Forestal Industrial). (1999). *Guía para la instalación y evaluación de parcelas permanentes de muestreo (PPMs)*. Santa Cruz, Bolivia: 60 p.
- Chacón**, P., Leblanc, H. A. & Russo, R. O. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical* 3 (1); 39-49.
- Casanoves**, F., Pla, L. & Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. 1 ed. Serie técnica. Informe técnico No 384: CATIE. 84 p.
- Chambers**, J. Q., Higuchi, N., Schimel, J. P., Ferreira, L. V. y Melack, J. M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia* 122; 380 – 388.
- Chave**, J., Condit, R., Lao, S., Caspersen, J.P., Foster, R. B. & Hubbell, S. (2003). Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Tropical Ecology* 91; 240-252.
- Chave**, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, A., Chambers, J. Q., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-9
- Chave**, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G. & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology* 10; 3177-3190p.
- Del Valle**, J. I., Restrepo, H. I. & Londoño, M. M. (2011). Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia. *Biología Tropical* 59(3); 1337-1358.
- Dixon**, R. K., S., Brown, R. A., Houghton, A. M., Solomon, M. C., Trexler & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263; 185-190.
- Emmer**, I. (2007). *Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos*. Quito, Ecuador: Proyecto Encofor. 22 p.
- Feldpausch**, T.R., McDonald, A. J., Passos, C.A.M., Lehmann, J. & Riha, S. J. (2006). Biomass, harvestable area, and forest structure estimated from commercial timber inventories and remotely sensed imagery in southern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 233; 121-132
- Field**, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson J. T. & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281; 237-240.
- Giraldo**, W., Cárdenas, D. & Duque, A. (2011). Alometría y crecimiento de seis especies arbóreas en un bosque de tierra firme en la amazonia colombiana. *Colombia Forestal* 14(1); 9-21
- GOFC-GOLD.** (2009). *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and 46 degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures 47 for monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD Report version COP14-2, 48*. Alberta, Canada: GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada.



- Harmon**, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack Jr, K. & Cummins, K. W. (1986). *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*. *Advances in ecological research* 15; 133 – 302.
- Higuchi**, N., Santos, J. & Jardim, F. C. S. (1990). Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica, Manaus* 12(1); pp. 93-103, Recuperado de <http://acta.inpa.gov.br/redirect.php?volume=12&edicao=1&arquivo=v12n1a13.pdf&pasta=PDF&loc=sum>.
- IDEAM** (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: IDEAM. 420 p.
- IDEAM** (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2013). Informe técnico final de 'Estimación de contenidos de carbono para el área piloto del escenario de referencia regional que abarcaría las tres iniciativas de implementación temprana REDD+ en el Área de Manejo Especial de la Macarena (AMEM) y otras zonas de la Amazonia'. Bogotá: IDEAM. 51 p.
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2003). *Guía de buenas prácticas del uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (GBP UTCUTS). Métodos Complementarios y Orientación Sobre las Buenas Prácticas que Emanan del Protocolo de Kyoto. Capítulo 4*. 132 pg. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplucf/gpplucf_languages.html
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2005). *Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, Capítulo 4*. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplucf/gpplucf.html>
- IPCC** (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). (2005b). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*.
- Ketterings**, Q. M., Coe, R. & Van Noordwijk, M. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146; 199-209.
- Keller**, M., Palace, M. & Hurtt, G. (2001). Biomass estimation in the Tapajos National forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management* 154; 371-382.
- Lewis**, S. L. et ál. (2004). Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50 South American long-term plots. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359; 421-436. Doi:10.1098/rstb.2003. 1431
- Likes**, G. (1981). Some perspectives of the major biogeochemical cycles. New York: Mimeo.
- Mahibbur**, R. M. & Govindarajulu, Z. (1997). A modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. *Journal of Applied Statistics* 24(2); 219-235.
- Márquez**, L., Roy, A. Castellanos, E., Arreaga A. & Arévalo, M. (2000). Elementos técnicos para inventarios de carbono en el uso de suelo. Guatemala: Fundación solar.
- Nebel**, G., Dragsted, J. & Vegas, A. S. (2001). Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forest in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management* 150; 93-102.
- Patiño**, S., Lloyd, J., Paiva, R., Quesada, C. A., Mercado, L. M., Baker, T. R., Czimczik, C. I., Schwarz, M., Schmerler, J., Sota, A., Santos, A., Horna, V., Peacock, J., Wagner, M., Arroyo, L., Almeida, S., Alvarez, E., Aguilar, A., Bonal, D., Gallo, J., Herrera, R., Higuchi, N., Hoyos, E. J., Jimenez, E. M., Killeen, T., Leal, E., Luizaño, F., Malhi, Y., Meir, P., Monteagudo, A., Neill, D., Nuñez, V. P., Palomino, W., Peña-Cruz, A., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Pitman, N. L., Priante, F. N., Prieto, A., Panfil, S. N., Rudas, A., Salomao, R., Silva, N., Silveira, M., Lezama, A., Turriago, J. D., Vasquez-Martinez, R., Vieira, I., Villanueva B. & Vitzthum, P. (2008). Branch xylem density variation across the Amazon Basin. *Biogeosciences. Discuss* 5; 2003-2047.
- Paul**, E. & Clark, F. (1989). *Soil microbiology & biochemistry*. Londres: Academy Press.
- Phillips J. F.**, Duque A. J., Yepes A. P., Cabrera K. R., García M. C., Navarrete D. A., Álvarez E. & Cárdenas D.

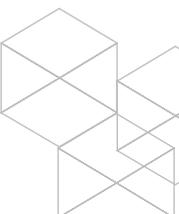


- (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. 68 pp.
- Rodrigues de Souza**, C., De Azevedo, C., Brum, L., Da Silva, K., Dos Santos, J. & Higuchi, N. (2011). Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus. *Acta Amazonica* 42(4).
- Rügnitz**, M. T., Chacón, M. L. & Porro R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Lima: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.
- Schlegel**, B., Gayoso, J. & Guerra, J. (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para inventarios*. Recuperado de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/proyectos_desarrollo/medicion_captura_carbono_bosques_chile.pdf
- Schelesinger**, W. (2005). *Biogeochemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Segura**, M. & Andrade, H. (2012). *Importancia, uso y construcción de modelos alométricos de biomasa*. En: Curso ‘Herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra’. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Silva**, J. N. M. (1980). *Eficiencia de diversos tamanhos de formas de unidades de amostra aplicados em inventário florestal na região de Tapajos*. Curitiba. (Tese de Mestrado – Engenharia Florestal. Univerisidade Federal do Paraná).
- Somarriba**, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Deheuvels, O., Davila, H., Espin, T., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C. & Say E. (2012). *Carbono en sistemas agroforestales de caca en Centro América*. En: Curso ‘Herramientas para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas de uso de la tierra’. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Vallejo**, A. (2009). *Cambio climático, bosques y uso de la tierra*. En ‘Curso Formulación de Proyectos MDL Forestal y Bioenergía’. Buenos Aires, Argentina.
- Vallejo**, A. (2009). *Cuantificación de carbono en proyectos REDD*. En Seminario – taller REDD - Metodologías, Experiencias y Perspectivas Latinoamericanas. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Walker**, B, Kinzig, A. & Langridge, J. (1999). Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems* 2; 95–113.
- Wardle**, D. A., Walker, L. R. & Bardgett, R. D. (2004). Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science* 305(5683); 5 09-513.
- Wittaker**, R. & Likens, G. (1975). Carbon in the biota. In: G. M. Woodwell & E. V. Peka (eds.) *Primary productivity*. Springfield, Virginia: C. O. N. F., U.S. Atomic Energy Commissions.
- Yepes**, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C. & Ordóñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. 162 p.

8.

Caracterización y Tipificación de los Sistemas de Producción en Guaviare

Marfi Daza, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo



Resumen

El proceso de caracterización y tipificación de los sistemas productivos en cinco unidades de paisaje en el departamento de Guaviare que corresponden a sabana, tierra firme alta, tierra firme media, tierra firme baja vega se realizó a partir de un proceso metodológico en cuatro etapas (procesamiento de la información, revisión y selección de las variables, aplicación de técnicas estadísticas y descripción de tipos o grupos). De esta forma se usaron diferentes técnicas estadísticas (estadística descriptiva, análisis de componentes principales ACP, análisis de conglomerados) que permitieron la obtención de grupos predominantes en cada una de las unidades de paisaje, donde en el estrato de sabana se identificaron grupos de fincas agro avícolas con venta de mano de obra familiar y ganadero familiar; en el estrato de TF alta se agruparon fincas con orientación a agricultura con venta de mano de obra familiar, ganadero avícola familiar, ganadero con venta de mano de obra familiar. La unidad de paisaje TF baja agrupó los predios en tipologías agrícola con venta de mano de obra familiar y ganadero con venta de mano de obra familiar; el estrato TF media agrupó los predios en ganadero con venta de mano de obra familiar, agropecuario con venta de mano de obra familiar, ganadero con explotación de maderas y venta de mano de obra familiar y agrícola con venta de mano de obra; finalmente el estrato de vega solo presentó un tipo de producción que se agrupó en agrícola con venta de mano de obra familiar. Siguiendo el método de media ponderada, la finca típica tendría el siguiente uso del suelo: 2.2 % en cultivos, 57 % en pastos, 10 % en rastrojos, 30 % en bosque y un 1 % en otras áreas como cuerpos de agua. De lo anterior debe aclararse que el hecho de que la mayoría de los sistemas de producción tenga un rasgo agrícola, ello no significa que el mayor uso del suelo se oriente en este sentido.

Palabras clave: *Sistemas de producción, intervención, paisajes, tipologías.*

Introducción

El alto grado de heterogeneidad que existe entre las explotaciones agropecuarias que conforman una población dificulta la toma de decisiones, en tal sentido, al agrupar las explotaciones de acuerdo con sus principales diferen-

cias y relaciones se busca maximizar la homogeneidad y heterogeneidad de los grupos (Cabrera *et al.*, 2004). Por tanto, la caracterización y tipificación surge como herramienta metodológica dentro del enfoque sistémico, ante la necesidad de identificar y analizar las características técnicas y socioeconómicas de los productores agropecuarios (Mantilla *et al.*, 2000). Según Bolaños (1999), la caracterización no es más que la descripción de las características principales y las múltiples interrelaciones de las organizaciones; en tanto que la tipificación se refiere al establecimiento y construcción de grupos posibles basados en las características observadas en la realidad, por tanto, la tipificación de los sistemas productivos ofrece varios resultados principales o directos: la organización conceptual de la diversidad existente en agricultura campesina; la determinación de dominios de recomendación y un listado de unidades de producción representativas y las poblaciones de las que es posible hacer inferencias de resultados (Escobar & Berdegué, 1989).

La caracterización, tipificación y análisis de los sistemas de producción, constituyen unas herramientas esenciales para conocer la distribución espacial de estos sistemas productivos, para determinar y cuantificar las características de los componentes que conforman su estructura y para entender las interacciones que definen su funcionamiento. Una adecuada clasificación de los sistemas productivos puede apoyar el diseño de políticas agropecuarias para una zona (Landín, 1990), facilitar la definición de políticas de transferencia tecnológica (Suárez & Escobar, 1990; Álvarez & Paz, 1998) y ayudar al conocimiento de la dinámica de desarrollo de una región o al diseño y gestión de proyectos de desarrollo (Berdegué *et al.*, 1990).

Esta información es un insumo básico para la planificación, ejecución y seguimiento de los proyectos de generación, transferencia de tecnología, capacitación y asistencia técnica (Romero, 1994; Suárez, 1996). Para la caracterización y tipificación de los sistemas, se han utilizado diversas técnicas de análisis estadísticos. Mainar *et al.* (1993) utilizan técnicas de análisis de varianza; Martos *et al.* (1995), Castaldo *et al.* (2003) y García *et al.* (2003) proponen en ganadería extensiva la utilización de



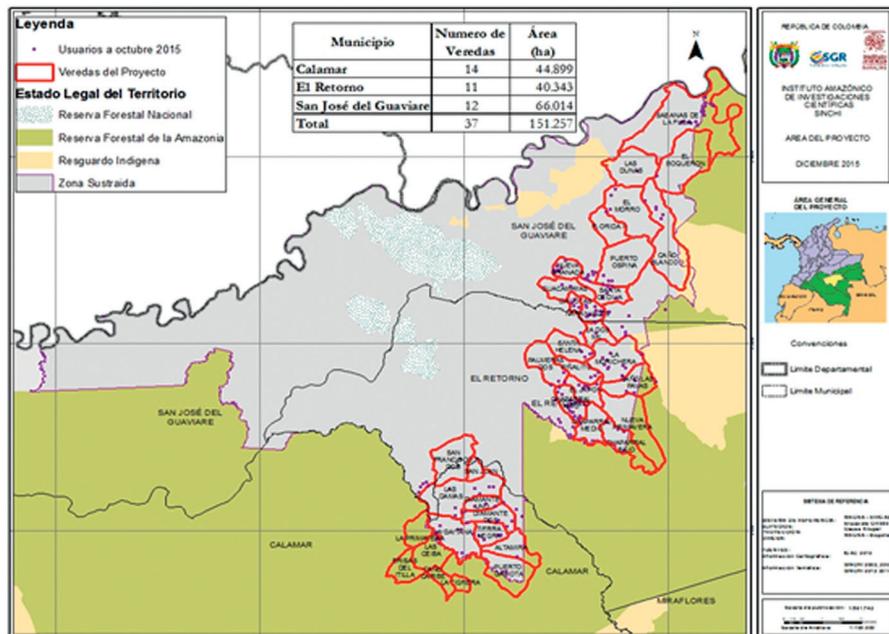
técnicas de ANOVA para establecer los factores; mientras que Pardos *et al.* (1999), Rapey *et al.* (2001), Sraïri *et al.* (2003), Macedo *et al.* (2003), Castel *et al.* (2003), Siegmund-Schultze *et al.* (2001) y Paz *et al.* (2003) utilizan técnicas de análisis multivariante como el análisis de componentes principales, correspondencia múltiple y análisis *cluster*, los que incluyen un conjunto de técnicas y métodos que nos permiten estudiar conjuntos de variables en una población de individuos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes se presentan este artículo con el objetivo de general de delimitar los sistemas de producción agropecuaria, y contribuir a la generación de información que ayude a la planificación y organización de su producción; para esto se procede a identificar, caracterizar y tipificar los sistemas productivos del departamento de Guaviare.

Materiales y métodos

Área de estudio

Figura 1. Mapa del área del proyecto



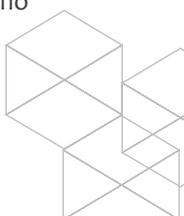
Fuente: Elaboración propia

Procesamiento de la información (elaboración de la base de datos, clasificación y descripción de las variables)

Selección de variables para caracterización y tipificación

Para la definición de las temáticas y variables (condición necesaria para el éxito de cualquier proceso de tipificación) que formaron parte de la encuesta, es indispensable tener claros los objetivos para lo cual se está realizando la caracterización y tipificación de los sistemas de producción, así como la priorización de las variables, las cuales deben ser un fiel reflejo de las necesidades de información relevante.

Se seleccionaron los aspectos más visibles que componen los sistemas productivos que relacionan: la orientación de la producción, los costos de producción, el destino de la producción, la valorización, el origen de la mano de obra, el nivel tecnológico, el apoyo institucional y el uso del suelo. Estas variables fueron priorizadas teniendo como



referencia los estudios de caracterización y tipificación de los sistemas adelantados en la región amazónica y especialmente los desarrollados por el Instituto SINCHI en los departamentos del Guaviare en el año 1998, 2013 y en Caquetá durante los años 2000, 2011 y 2012. Se elaboró una matriz de variables que permitiera identificar las fincas que predominan en los estratos de sabana, vega, tierra firme alta intervención, tierra firme intervención media y tierra firme intervención baja.

Construcción del instrumento de recolección de la información

Teniendo en cuenta las variables priorizadas, se elaboró una propuesta de instrumento de captura de información en campo en el software *Cybertracker Versión 3, Build 3.412 Steventon J* (2014), que posee una serie de plantillas de pantallas que facilitan la creación rápida de los formularios.

El diseño del instrumento tuvo en cuenta que el número de variables (preguntas de la encuesta) debe ser limitado, de tal forma que la encuesta sea lo más corta posible, sin sacrificar por esta causa la cantidad de información requerida.

Asimismo, el tipo de preguntas no debe condicionar las respuestas, en lo posible se deben evitar preguntas abiertas que posteriormente no se puedan procesar estadísticamente. Para la aplicación y recopilación de la información (encuesta) se contará con el apoyo de personal capacitado en la zona de influencia del proyecto.

El contenido de la encuesta como instrumento de captura de información

El formato de encuesta propuesto captura en primera medida una *información general* que permite tener un marco referencial inicial de la ubicación del predio, la identificación de la unidad de muestreo, información poblacional, área del predio y distribución de cada uno de sus componentes.

Se consideran cuatro componentes principales para tipificar los sistemas de producción que deben estar contenidos en la encuesta:

1. Orientación de la producción
2. Cobertura y uso del espacio productivo

3. Costos de producción
4. Destino de la producción
5. Valorización
6. Mano de obra
7. Nivel tecnológico
8. Apoyo institucional

Para avanzar en el análisis estadístico requerido en la identificación de las tipologías de sistemas productivos, se sistematizaron los datos colectados en campo. Para esto se digitalizó la información colectada en una base de datos previamente estructurada que permitió la consolidación de la información proveniente de una encuesta predial, en una base de datos en formato Excel.

Revisión y selección de las variables

Una vez la información de las encuestas se encontró sistematizada y revisada, se originó un archivo de trabajo plano (Matriz Básica de Datos MBD). Para la generación de este archivo, se copió la información en una nueva hoja donde se eliminaron fórmulas y casillas de función que generarían conflicto para realizar el análisis estadístico. En este nuevo archivo se seleccionaron las columnas o variables que se deben tener en cuenta para la tipificación. La construcción de la MBD es fundamental porque constituye el punto de partida o materia prima para la aplicación de las herramientas estadísticas.

Descripción estadística de las variables

Posteriormente, se realizó una depuración de variables a través de un análisis estadístico descriptivo simple, en el cual se calculó el promedio, la varianza, el máximo, el mínimo y el coeficiente de variación. Teniendo en cuenta lo anterior, se estructuró un archivo donde se dejaron únicamente las variables seleccionadas después de este análisis y se estructuró la base para el análisis de componentes principales.

Aplicación de técnicas estadísticas

Análisis de componentes principales: Con el objetivo de reducir la dimensión del conjunto de datos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). El ACP establece un conjunto de combinaciones lineales estandarizadas llamadas componentes principales, las cuales son ortogonales y tomadas en conjunto explican toda la variación de los datos originales.



Análisis de conglomerados: Con base en las variables seleccionadas por los componentes principales, se procedió a realizar un análisis de conglomerados de las fincas mediante la construcción de un dendograma. Para ello se usó el método del *linkage* de Ward y la matriz de distancias euclidiana. Las variables usadas en este procedimiento fueron previamente estandarizadas (promedio 1 y varianza 0). Los análisis se llevaron a cabo con un software *InfoStat V* 2016.

Descripción de tipos o grupos

Una vez obtenidos los grupos de fincas, se evaluó el peso de cada una. Para la descripción y/o identificación de los sistemas productivos se realizaron análisis estadísticos descriptivos (valores mínimos y máximos, promedios y porcentajes). Para la definición del nombre de las tipologías, se tuvo en cuenta principalmente las variables relacionadas con el uso de suelo, la orientación de la producción y el origen de la mano de obra.

Resultados y análisis de resultados

Se realizó un análisis de conglomerados de las fincas mediante la construcción de un dendograma que permitió la clasificación de los predios dentro de grupos que serán caracterizados como tipologías. El análisis de clúster es utilizado cuando existe una muestra de n objetos, cada uno de los cuales tienen puntaje en p variables y entrega un esquema para agrupar los objetos dentro de clases de tal forma que los similares están en la misma clase o tipo.

Muchos algoritmos han sido propuestos para el análisis de clúster. Primero tenemos la técnica jerárquica, que produce un gráfico denominado dendograma. Estos métodos comienzan con el cálculo de las distancias de cada individuo a todos los otros individuos (matriz de distancias entre individuos). Los grupos o tipologías son formados por un proceso de aglomeración o división.

Con la aglomeración todos los objetos comienzan estando solos en grupos de uno. Gradualmente los objetos empiezan a ser fundidos dentro de grupos cerrados. Finalmente, todos los individuos están en un grupo simple.

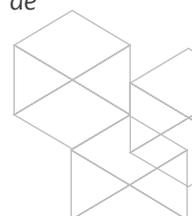
El método jerárquico divisivo trabaja en una dirección opuesta. Un grupo simple inicial de objetos es dividido en dos subgrupos tal que los objetos en un subgrupo están separados de los del otro subgrupo. Estos subgrupos están divididos en subgrupos disímiles; el proceso continúa hasta que existan tantos subgrupos como objetos, es decir, hasta que un objeto forme un grupo.

Los resultados de ambos métodos aglomerativo y divisivo pueden ser formados en la forma de un diagrama de dos dimensiones conocido como dendograma. Los dendogramas ilustran las fusiones o divisiones que han sido hechas en los sucesivos niveles (Johnson & Wicher, 1998).

Para esta investigación se utilizó método del *linkage* de Ward y la matriz de distancias euclidiana, las variables usadas en este procedimiento fueron previamente estandarizadas (promedio 1 y varianza 0) ya que diferían en escala y dimensión. Los conglomerados quedaron conformados de la siguiente manera:

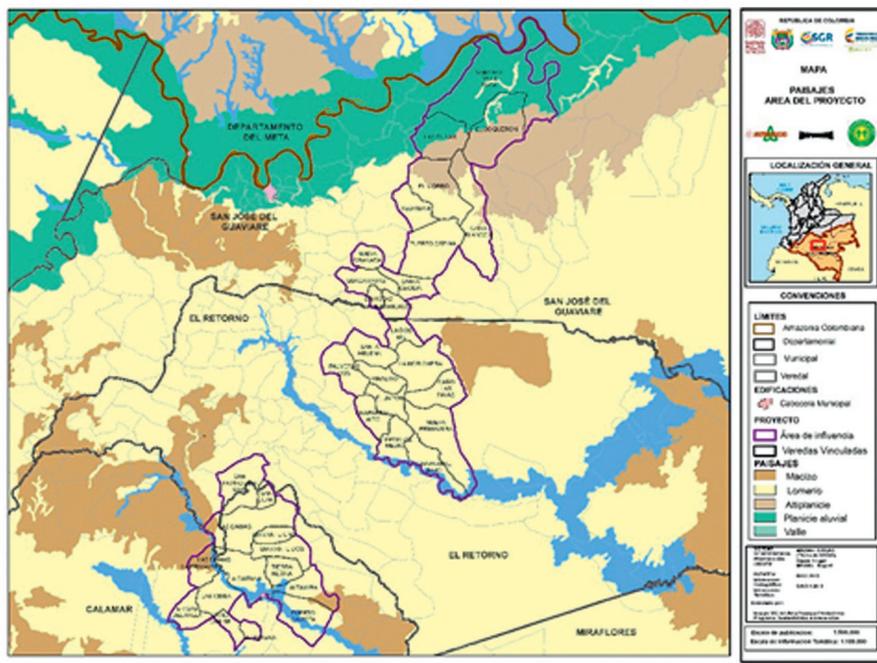
- Estrato de TF Alta Intervención: fijando un criterio de corte en la distancia 12,16, se evidencian 2 grupos, el primero conformado por 9 predios, el segundo conformado por 4 y el tercero por 3.
- Estrato TF Intervención Media: fijando un criterio de corte en la distancia 47,14, se evidencian 4 grupos. El primero compuesto por 125 predios, el segundo conformado por 72 predios, el tercero conformado por 3 predios y el cuarto por 70 predios.
- Estrato TF Intervención Baja: fijando un criterio de corte en la distancia 26,98, se evidencian 2 grupos, el primero conformado por 29 predios y el segundo por 32 predios.
- Sabana: Fijando un criterio de corte en la distancia 11,54 se evidencian 2 grupos. El primero compuesto por 21 predios y segundo por 4.
- Vega: Fijando un criterio de corte en la distancia 10,90 se evidencia 1 grupo compuesto por 13 predios.

En desarrollo del proyecto *Zonificación ambiental y ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, a Ley 2ª de*



1959, para el departamento del Guaviare realizado por el Instituto SINCHI (2010), en el ‘componente caracterización y diagnóstico ambiental’ se identificó que la geomorfología se encuentra íntimamente relacionada con la evolución y génesis de los suelos y que esta variable es la que determina las unidades de paisaje; igualmente se manifiesta que, según el sistema de clasificación Zinck, (1987), para el departamento del Guaviare se han reconocido (6) seis tipos de paisajes: i) macizo, ii) altillanura, iii) lomerío, iv) peniplanicie, v) planicie y vi) valle. A continuación se señalan las características más importantes de los paisajes identificados (figura 2).

Figura 2. Paisajes al interior del área de análisis



Fuente: Elaboración propia

Definición de la tipología

A partir de los datos de medias arrojados para cada uno de los grupos y teniendo en cuenta las variables que muestran diferencias significativas en los grupos por estrato, se determinaron grupos de variables que de manera integral permitieran identificar modos de funcionamiento y de esta forma determinar el nombre de las tipologías que componen cada uno de los estratos evaluados.

Grupos de variables evaluados:

Variables que identifican las actividades productivas

Estas variables pretenden identificar el sector o los renglones de producción al interior de los predios que son relevantes para su mantenimiento en el tiempo. El modo en que estas fincas han consolidado este sistema depende en gran parte del contexto en el que se encuentran inmersas y los niveles de mercadeo y/o autoconsumo al interior de los predios.

Las variables relacionadas con las actividades productivas corresponden al porcentaje de ingresos que se genera producto de las principales actividades del sector productivo, tales como la agricultura, la ganadería, las especies menores y otros ingresos sobre los ingresos totales donde también se incluye la venta de mano de obra y los ingresos percibidos por subsidios.



Ganadero (Ga). Se incluyen aquellos sistemas productivos que desarrollan actividades pecuarias bovinas, los cuales generan un ingreso dentro de la actividad productiva. Dentro de estas actividades se encuentra la cría, el levante, la ceba y la venta de ganado bovino, la venta y transformación de la leche y derivados lácteos, así como la adecuación de la infraestructura del predio con miras a la explotación de esta actividad donde se incluye el pastaje, el alquiler de pasto y el recibo de ganado al aumento. Estos sistemas de producción perciben en un 50 % ingresos por dichas actividades mencionadas anteriormente y puede generar otros ingresos de otras actividades, sin embargo la actividad predominante es la ganadería. Según los resultados, estos sistemas están presentes en todos los estratos evaluados.

- **Agrícola (Ag).** Se entiende por agrícola los sistemas de producción cuyo principal ingreso proviene del desarrollo de actividades agrícolas, en contraposición a la pecuaria. Sin embargo, en estas tipologías se pueden desarrollar actividades de ganadería pero el mayor porcentaje de ingresos se percibe por la agricultura. Por lo general, estas tipologías suelen desarrollar actividades alternas donde se combina la ganadería, la explotación de especies menores o la misma venta de mano de obra lo cual es común en áreas de tierra firme; no obstante en zonas de vega, la tendencia al uso del suelo es netamente agrícola y por tanto los ingresos se perciben en un 100 % de este sector.
- **Avícola (Av).** Estos sistemas se caracterizan por la explotación de aves de corral bajo tres subproductos: la venta de huevos, la carne del animal (gallinas o pollos) y la venta de gallinaza para abono orgánico. Estos sistemas se pueden desarrollar a la par otras actividades, pero por lo general más del 90 % de los ingresos son percibidos por la avicultura.
- **Agropecuario (Agp).** Estos sistemas son aquellos que desarrollan actividades mixtas de producción, donde se alterna la producción agrícola con la pecuaria que puede ser bovina o por especies menores o ambas dentro de la misma unidad productiva y por lo general, generan ingresos en proporciones similares. Según los resultados, estos sistemas se

desarrollan con mayor fuerza en zonas de tierra firme alta, media y baja intervención.

Variables que identifican las relaciones sociales de producción

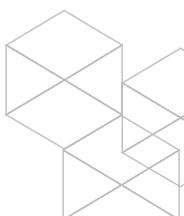
Estas variables pretenden identificar la fuerza de trabajo que se emplea en el desarrollo de las actividades productivas en el sistema de la finca.

Estas variables tienen que ver con dos aspectos: en primer lugar con el porcentaje de mano de obra familiar que se requiere para el desarrollo de las actividades productivas en la finca, la cual se expresa mediante la relación: porcentaje del costo de la mano de obra familiar sobre el costo de la mano de obra total. Este valor explica el tipo de mano de obra predominante utilizada en la unidad de producción finca, es decir, la mano de obra familiar cuando se encuentra por encima del 60 % e indica un grado de mantenimiento de la economía campesina, más aún cuando se aproxima al 100 %.

En un segundo lugar, el porcentaje de ingresos percibidos por concepto de venta de mano de obra y de subsidios (por lo general del Estado como los que brinda acción social o por familias guardabosques, etc.) sobre los ingresos totales de la unidad productiva donde se incluyen los ingresos de ganadería, agricultura y la avicultura. Este valor permite identificar el grado de descomposición campesina negativamente.

En este sentido, de acuerdo con la composición de mano de obra familiar y contratada, así como los ingresos por concepto de venta de mano de obra, se establece los siguientes tipos de fincas en el Guaviare:

- **Familiar (F).** Estas fincas emplean básicamente mano de obra familiar en el proceso productivo que se desarrolla al interior de la finca; es decir que utilizan un bajo o nulo nivel de mano de obra contratada y en poco se ven obligadas a vender su fuerza de trabajo para el sustento familiar. Este modo de producción es común en tipologías campesinas que se encuentran en zona de tierra firme alta, media y baja intervención, así como en zonas de vega. Este tipo de sistemas no suele encontrarse en zonas de sabana.



- **Empresarial (E).** Contrario a las unidades familiares, los sistemas de producción empresarial requieren de un alto porcentaje de mano de obra contratada. Son predios que generan excedentes productivos y acumulan capital. Se considera que utilizan por lo menos más del 70 % de este tipo de mano de obra.
- **Semiempresarial (S).** Entre las formas de producción familiares y empresariales existe una gama de matices que permite identificar tipos intermedios de producción, que no pueden denominarse ni familiares ni empresariales porque se encuentran entre las unas y las otras. Estas unidades son clasificadas como semi empresariales o semi familiares y pueden interpretarse como un tránsito en cualquiera de los dos sentidos. Este tipo de fincas son comunes en áreas de sabana.
- **Subfamiliar (SF).** Se define como aquellas unidades de producción que dependen en gran medida de fuentes de ingreso extrapredial, especialmente del trabajo asalariado y los subsidios. Son parte de un proceso de descomposición del campesinado dentro del proceso de transformación de la economía, fenómeno que se acentúa en los momentos de crisis económica o por la preponderancia y dominio de la tecnificación y el mercadeo de bienes que alcanzan las formas empresariales de producción.

Esta forma de producción es diferente a la producción empresarial y que se encuentra en un espectro de descomposición campesina hacia abajo. En este caso, las familias se ven obligadas a vender la fuerza de trabajo fuera del predio para obtener su sostenimiento porque el ingreso generado dentro de la unidad productiva no es suficiente para el sostenimiento. Esta tipología no es común en ninguna de las unidades evaluadas, sin em-

bargo, es posible identificar que en zonas de tierra firme intervención media existen tipologías familiares influenciadas fuertemente por la venta de mano de obra pero que también perciben ingresos en otros sectores como la agricultura y la ganadería.

Variables complementarias

Son aquellas variables que sirven para validar las variables mencionadas anteriormente. Estas variables tienen que ver con el porcentaje de áreas empleada para cultivos y pastos, el área total, el número de bovinos de la unidad productiva, el porcentaje de ingreso bovino, por lácteos y por cultivos comerciales, el nivel tecnológico, la valorización de predios y coberturas y el grado de asociatividad. Así, en el caso de un predio cuyos ingresos por venta de ganado sea bajo (porque no hubo transacciones durante el año, por ejemplo) pero que presenta un alto porcentaje del área del suelo en pastos y además posee un número relativamente alto de cabezas de ganado, es calificado como de tipo ganadero. Es por esta razón que las variables complementarias son consideradas también como variables de control.

Por lo tanto, en la presente tipificación se toman un conjunto de x variables no espaciales asociadas en tres grandes grupos: cinco de actividades productivas (porcentaje de ingresos agrícola, porcentaje de ingreso ganadero, porcentaje de ingreso especies menores, porcentaje de ingresos bosque, porcentaje de otros ingresos) dos de relaciones de producción (porcentaje de mano de obra familiar y número de jornales) y cinco complementarias o de validación de producción (porcentaje de bosque, porcentaje de pasto, porcentaje de cultivos, porcentaje de rastrojos, UGG).

En la tabla 1, se resumen las tipologías halladas en todas las unidades fisiográficas evaluadas y los pesos que registra cada una dentro de la unidad.



Tabla 1. Pesos de las tipologías en las unidades fisiográficas evaluadas

| SABANA | | |
|---|--|---|
| Agro avícola con venta de mano de obra familiar AgAvVmoF 84 % | Ganadero familiar GaF 16 % | |
| TIERRA FIRME INTERVENCIÓN ALTA | | |
| Agrícola con venta de mano de obra familiar AgVmoF | Ganadero avícola familiar GaAvF | Ganadero con venta de mano de obra familiar GaVmoF |
| 56 % | 25 % | 19 % |
| TIERRA FIRME INTERVENCIÓN BAJA | | |
| Agrícola con venta de mano de obra familiar AgVmoF | Ganadero con venta de mano de obra familiar GaVmoF | |
| 48 % | 52.46 % | |
| TIERRA FIRME INTERVENCIÓN MEDIA | | |
| Ganadero con venta de mano de obra familiar GaVmoF | Agropecuaria con venta de mano de obra familiar AgpVmoF | Agrícola con venta de mano de obra familiar AgVmoF |
| 46 % | 27 % | 26 % |
| VEGA | | |
| Agrícola con venta de mano de obra familiar AgVmoF 100.00 % | | |

Fuente: Elaboración propia

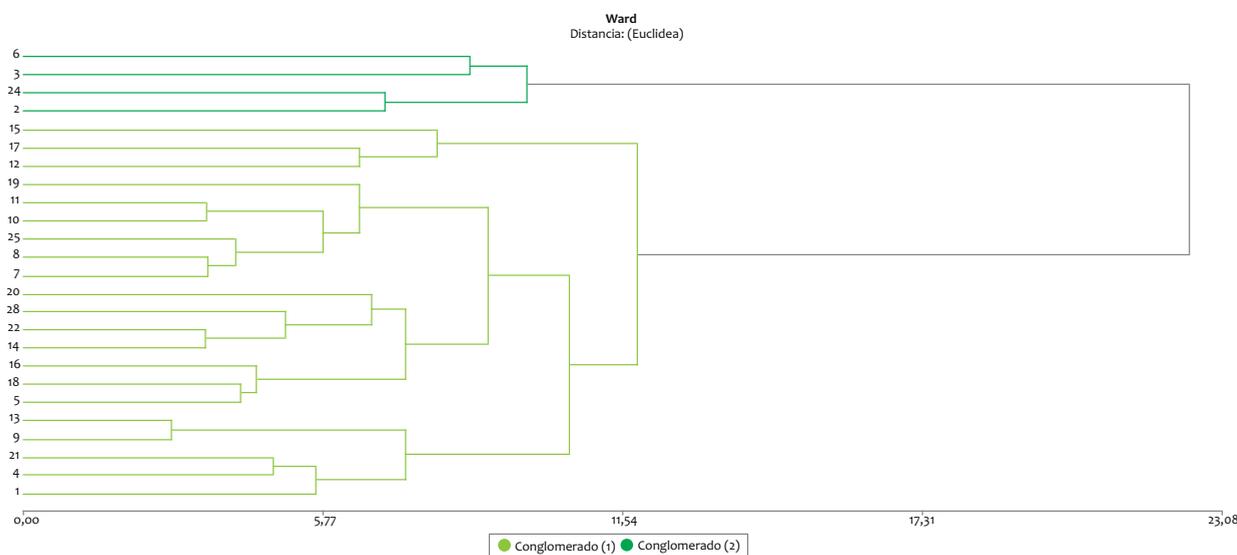
El 45,45 % de los grupos de fincas evaluados corresponde a tipologías con mayor énfasis en la agrícola, igualmente el 45,45 % realizan actividades ganaderas y el 9,09 % son agropecuarias. En todas las unidades fisiográficas se evidencian tipologías agrícolas, mientras que la ganadería se concentra en el área de sabana, tierra firme alta, tierra firme baja y tierra firme media.

Discusión

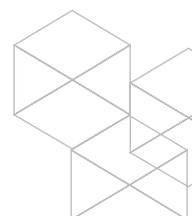
Unidad de paisaje sabana natural

Según los resultados obtenidos del análisis clúster (figura 3), en la unidad de sabana es posible identificar dos tipologías de fincas que distinguen dos formas de producción. La agricultura es la actividad que mayormente se desarrolla en las áreas de sabana, se destacan subsistemas de tipo familiar con producciones principalmente de aves de corral. Otra forma de producción diferente en la zona de sabana es la ganadería, donde la orientación es principalmente de leche.

Figura 3. Dendrograma de la unidad de paisaje de sabana.



Fuente: Elaboración propia



Agroavícola con venta de mano de obra familiar (AgAvVmoF)

La tipología agroavícola con venta de mano de obra familiar es la más común en toda la unidad fisiográfica de sabana, representa el 84 % del total de predios muestreados. Anualmente esta tipología tiene en promedio ingresos por 7,59 SMM (sin descontar costos), de los cuales el 36,01 % provienen de la agricultura, principalmente de la producción de maíz, plátano, yuca y caucho. El 26,49 % de los ingresos de estos predios provienen de las especies menores principalmente de la producción de huevos y aves de corral. Finalmente el 24,42 % de los ingresos son generados por el jornaleo en fincas vecinas. Algunas de las fincas pueden tener vacas para la producción de leche que generan un aporte del 12,97 % del ingreso neto de la finca. El área promedio de estos predios es de 70,7 hectáreas, de las cuales el 4,65 % están cubiertas por cultivos, el 21,13 % por pastos o gramas, el 10,70 % por rastrojos y el 37,62 % por bosques naturales, además de una área de 8,52 % que corresponde a otras coberturas del suelo.

Según los reportes, para el mantenimiento de esta unidad productiva en promedio se requieren 5,38 SMM, de los cuales el 57,6 % corresponden a mano de obra y el restante es invertido en insumos. De toda la mano de obra empleada en los predios el 86,87 % es de origen familiar. Los jornales contratados principalmente corresponden a labores de establecimiento, limpias, cosecha, labores que son adelantadas de manera simultánea y que requieren mayor mano de obra. Durante el transcurso del año se presenta venta de mano de obra que aporta el 24,42 % del ingreso al predio.

Ganadero familiar (GaF)

La tipología ganadero familiar representa el 16 % de los predios de la unidad de sabana. Se caracteriza por el desarrollo de una ganadería con mayor énfasis hacia la producción de leche. En promedio, el ingreso anual de estas fincas es de 31,45 SMM, de los cuales, el 71,21 % son aportados por la actividad ganadera, principalmente la venta de leche a las empresas presentes en la zona. En esta tipología se perciben algunos ingresos por la actividad agrícola que aporta el 20,38 %. Las actividades como aprovechamiento de bosque, especies menores y otros ingresos aportan el 8,94 % del total de ingresos en los predios.

El área promedio de estas fincas es de 151,31 hectáreas, de las cuales el 69,29 % corresponde a pastos (gramas, pastos mejorados y/o silvopastoriles), el 23,24 % corresponde a cobertura boscosa, el 3,09 % corresponde a cultivos y el 4,37 % restante a áreas de rastrojos.

El costo de mantenimiento de estas unidades productivas en promedio es de 32 SMM, en donde la mayor parte de estos costos es generado por la ganadería, seguida por la agricultura. Asimismo, anualmente para el desarrollo de todas las actividades se emplea 76,46 % de mano de obra de origen familiar y el 23,61 % restante es mano de obra contratada, como pasa en la tipología anterior, esta mano de obra es destinada para labores ganaderas de ordeño y manejo de ganado.

Tipologías en la unidad de tierra firme alta (TF Alta)

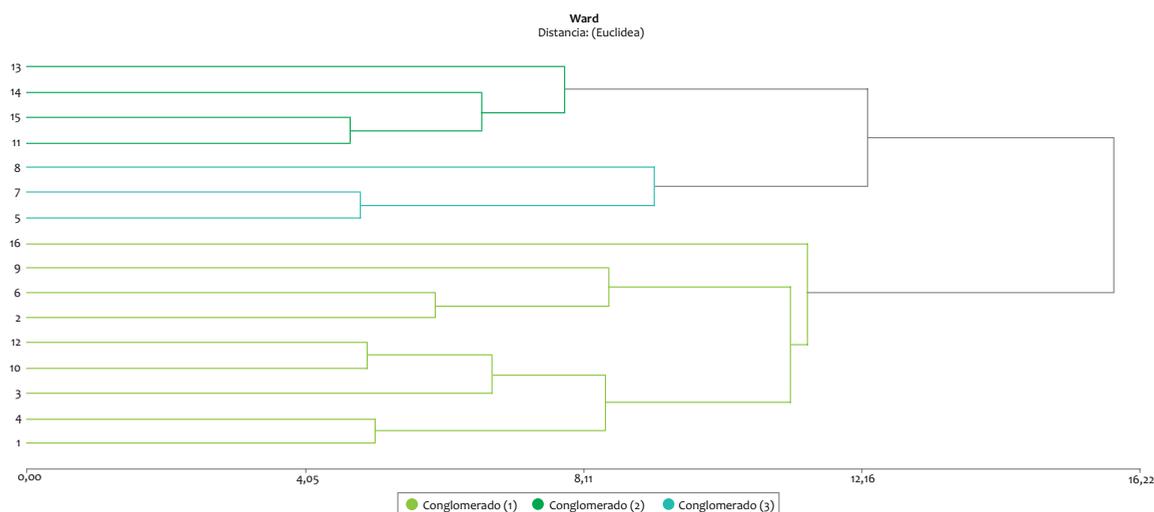
Según los resultados obtenidos del análisis clúster (figura 2), en la unidad de TF Alta, predominan tres tipologías en donde se diferencian dos formas de producción. La más predominante se caracteriza por el fomento de actividades de tipo agrícola familiar que representa el 56 % de todos los predios muestreados en esta unidad de paisaje. Seguido por la forma de producción ganadero familiar con la incorporación de otras actividades de tipo avícola y una ganadería familiar con venta de mano de obra que representa el 25 % y el 19 % de los predios muestreados respectivamente.

Agrícola con venta de mano de obra familiar (AgVmoF)

La tipología agrícola con venta de mano de obra familiar es la más común en toda la unidad, esta tipología tiene en promedio ingresos anuales de 9,15 SMM, de los cuales el 13,81 % provienen de actividades agrícolas, específicamente de maíz, plátano y yuca. El 67,54 % de los ingresos al predio provienen de actividades externas a la finca (jornales). Las especies menores aportan el 11,34 % del ingreso de estos predios; este ingreso está representado principalmente por la producción de huevos y aves para la venta y autoconsumo. El 7,35 % restante de los ingresos corresponde a actividades ganaderas y de aprovechamiento de bosque.



Figura 4. Dendrograma de la unidad de paisaje tierra firme alta. Conglomerado 1. Tipología AgVmoF, Conglomerado 2. Tipología GaAvF y Conglomerado 3. Tipología GaVmoF



Fuente: Elaboración propia

El área promedio de estos predios es de 51,83 hectáreas, donde el 36,93 % está cubierto por pastos (gramas), el 2,43 % de la cobertura del suelo son cultivos, el 13,03 % son áreas de rastrojos y el 47,61 % restante son áreas de bosque. La mano de obra requerida para el mantenimiento de la unidad es del 84,47 % y 15,53 % familiar y contratada respectivamente (figura 4, conglomerado 1).

Ganadero avícola familiar (GaAvF)

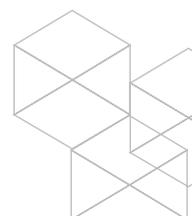
La tipología ganadero avícola familiar, representa el 25% de los predios muestreados en esta unidad fisiográfica. En promedio estos predios miden 29,56 hectáreas, de las cuales el 71,26 % son pastos o gramas para el mantenimiento del ganado, el 6,54 % cultivos, principalmente plátano y yuca, el 5,33 % representa las áreas de rastrojo y el 16,88 % es cobertura boscosa.

Anualmente el ingreso de este grupo de fincas es en promedio de 16,43 SMM, donde las actividades ganaderas aportan el 36,53 %, las especies menores el 32,04 %; la venta de mano de obra aporta el 12,99 % y el 18,45 % por actividades agrícolas. La ganadería desarrollada en esta tipología está orientada principalmente a la producción de leche. Los ingresos por especies menores se refieren principalmente a la producción de huevos y aves.

La mano de obra utilizada en estos predios es de 91,15 % familiar y un 8,85 % contratada para actividades ganaderas principalmente de ordeño. Los costos en insumos para el mantenimiento de estos predios es de 9,77 SMM, donde el 76,38 % de estos costos son generados por las actividades ganaderas, seguidas por las especies menores que generan un costo de 19,91 %, siendo los insumos de origen interno los que representan el mayor costo en la producción (figura 4).

Ganadero con venta de mano de obra familiar (GaVmoF)

La tipología ganadero con venta de mano de obra familiar representa el 19 % de los predios muestreados. El ingreso anual de este predio en promedio es de 33,48 SMM, donde las actividades ganaderas aportan el 65,90 % de los ingresos, seguido por la venta de mano de obra (jornal) que genera un 22,84 % del ingreso total del predio, el 10,05 % restante proviene de ingresos por especies menores y agricultura. Respecto al uso del suelo, en esta tipología se distribuye de la siguiente manera: 54,96 % son pastos, 19,74 % rastrojos, 24,74 % bosque y solo el 0,56 % corresponde a cultivos. El área promedio de estos predios es de 101,25 hectáreas.



Los costos de mano de obra para estos predios es de 5,59 SMM, donde la mano de obra familiar representa el 72,88 %, el 27,40 % restante corresponde a mano de obra contratada. Por otra parte 5,07 SMM, corresponden a costos de insumos requeridos para el mantenimiento de la unidad productiva, en donde la ganadería representa el 76,29 % de los insumos necesarios para el sostenimiento. En relación con estos insumos el 97,36 % son de origen externo y corresponden principalmente a elementos para el mantenimiento del hato ganadero (figura 4).

Tipologías en la unidad de tierra firme baja (TF Baja)

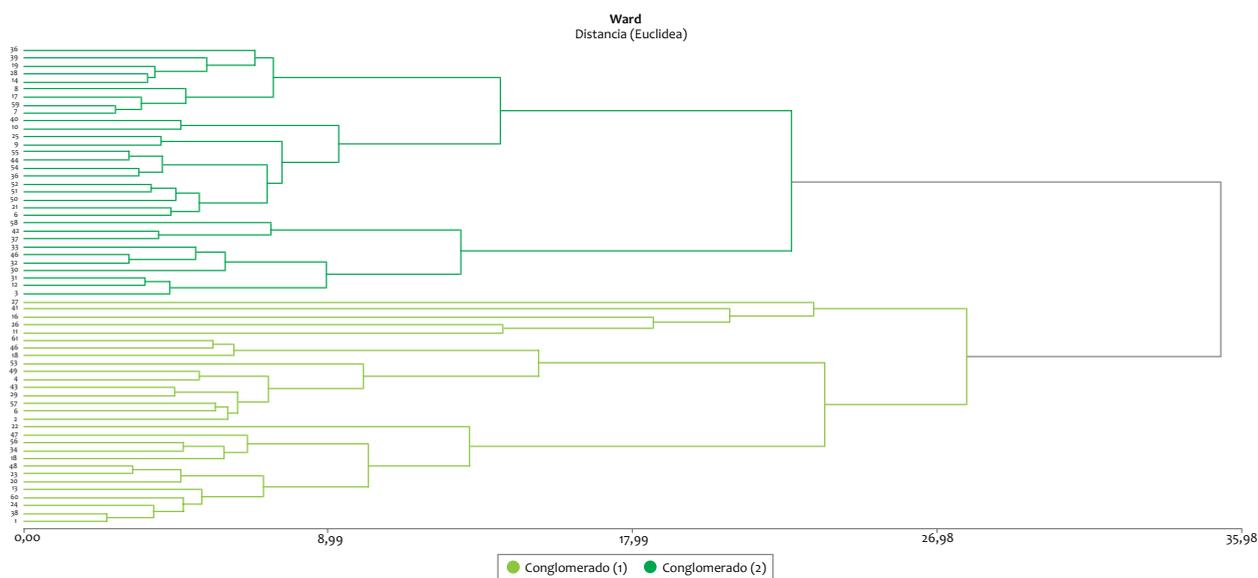
Según los resultados obtenidos del análisis *clúster* (figura 5), en esta unidad de paisaje se diferencian dos formas de producción. La más predominante es la ganadera con venta de mano de obra familiar que representa el 52 % de los predios en esta unidad de paisaje. La agricultura principalmente familiar con venta de mano de obra es la segunda.

Agricultura con venta de mano de obra familiar (AgVmoF)

La tipología agrícola con venta de mano de obra familiar, representa el 48 % de los predios muestreados en toda la unidad fisiográfica de TF Baja. El área promedio de las fincas que componen esta tipología es de 62,11 hectáreas, las cuales están cubiertas en un 4,15 % por cultivos, el 21,76 % de rastrojos, 58,75 % de bosque, 12,24 % de pastos y un 3,09 % de otras coberturas de suelo.

Los ingresos anuales promedios de esta tipología son de 18,61 %, de los cuales el 43,88 % (11,22 SMM) son derivados de la actividad agrícola. La venta de mano de obra aporta el 37,40 % de los ingresos. Las especies menores aportan el 10,73 % y las actividades producto de aprovechamiento de bosque solo aportan el 0,83 %. Así mismo, el manejo de todo el sistema agrícola requiere en mano de obra 23,40 SMM, de los que el 81,86 % corresponden a trabajo de origen familiar y el 18,30 % restante a mano de obra contratada. En relación con los insumos requeridos para el sostenimiento de la unidad productiva, estos en 74,60 % son de origen externo (figura 5).

Figura 5. Dendograma de la unidad de paisaje TF Baja. Conglomerado 1. Tipología AgVmoF y Conglomerado 2. Tipología GaVmoF



Fuente: Elaboración propia



Ganadero con venta de mano de obra familiar (GaVmoF)

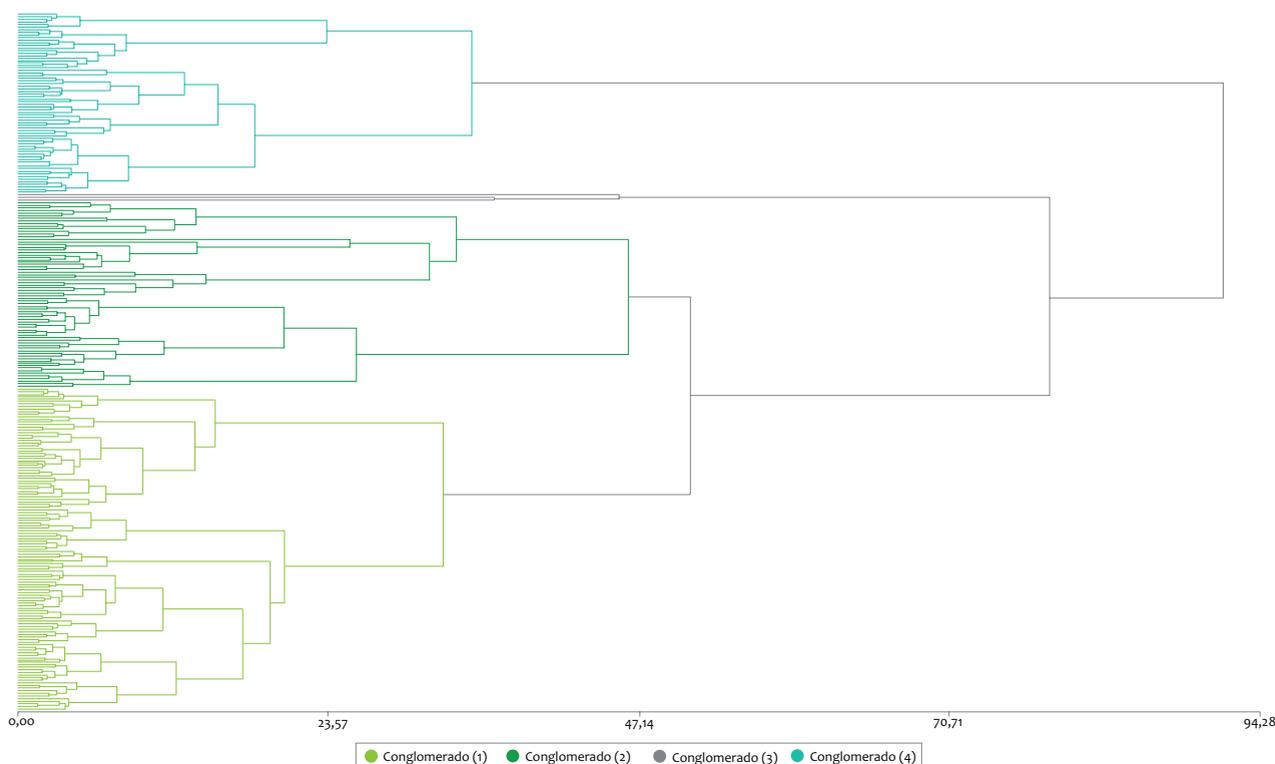
El área promedio de estos predios es de 79,95 hectáreas de las cuales el 33,40 % son pastos, seguido por el área de bosque que cubre el 47,53 %, área de rastrojo en promedio es de 18,08 % y la cobertura en cultivos solo es de 0,99 %. De acuerdo con esto los ingresos provenientes de la actividad ganadera, representa el 28,03 % del total de los ingresos, la venta de mano de obra aporta el 42,19 % al sistema siendo esta la actividad que más aporta a la generación de ingresos en los predios de esta tipología. En promedio para estos predios el ingreso anual es de 14,52 SMM. Los costos de mantenimiento de la unidad productiva en términos de mano de obra se distribuyen en 77,09 % de la mano de obra empleada en los predio es de origen familiar y 22,92 % en mano de obra contratada. Los insumos requeridos para el sostenimiento de las uni-

dades productivas en promedio son de 5,11 SMM, donde el 85,87 % de estos son de origen externo.

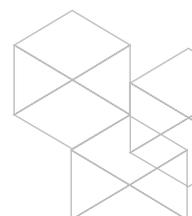
Tipologías de la unidad de paisaje tierra firme media (TF Media)

Según los resultados obtenidos mediante el análisis clúster (figura 6), en la unidad de paisaje TF Media se observan tres sistemas de producción, el primero es la ganadería con venta de mano de obra, que representa el 46 % de los predios en este estrato, la segunda forma de producción es una mezcla de la agricultura con ganadería que representa el 27 % de las unidades productivas en esta unidad; la tercera forma productiva es la ganadería donde se presenta el aprovechamiento de bosque y una agricultura con venta de mano de obra que representa 1 % y 26 % de las fincas que pertenecen a este estrato fisiográfico respectivamente.

Figura 6. Dendrograma de la unidad de paisaje Tierra Firme Media. Conglomerado 1. Tipología GaVmoF. Conglomerado 2. Tipología AgVmoF. Conglomerado 3. GaMadVmoF y Conglomerado 4. Tipología AgVmoF



Fuente: Elaboración propia



Ganadero con venta de mano de obra familiar (GaVmoF)

El área promedio de estos predios es de 64,15 hectáreas, de las cuales el 42,46 % están cubiertas por pastos para la ganadería, el 4,14 % corresponde a cultivos, el 14,54 % son rastrojos y el 38,67 % son bosques. Esta tipología representa el 46 % de los predios, lo que la convierte en la más común de esta unidad fisiográfica.

El ingreso anual promedio de los predios pertenecientes a esta tipología es de 21,49 SMM. Donde el 39,55 % de los ingresos del predio provienen de las actividades ganaderas, principalmente producción de leche. Otro aporte importante es la venta de mano de obra que genera 22,03 % al sistema productivo; estos predios también aportan en actividades agrícolas y especies menores, con un 19,39 % y un 19,03 % de los ingresos respectivamente para estas actividades.

Para el mantenimiento de la unidad productiva con relación a la mano de obra estos predios requieren en promedio 85,55 % de trabajo familiar. Hay un 14,45 % de trabajo contratado que se requiere principalmente en actividades de ordeño y manejo de ganado. Por otra parte, los insumos internos y externos requeridos para el sostenimiento de los predios es en promedio anual de 17,23 % y 82,76 % respectivamente.

Agropecuario con venta de mano de obra familiar (AgpVmoF)

La tipología agropecuario familiar con venta de mano de obra corresponde al 27 % de los predios. Esta tipología tiene en promedio 92,05 hectáreas, donde el 38,65 % corresponde a pastos, el 6,55 % a cultivos, el 28,70 a rastrojos, un 24,75% a cobertura boscosa y un 1,08 % a otras coberturas como cuerpos de agua.

Esta tipología en promedio tiene ingresos de 19,09 SMM donde las actividades ganaderas y agrícolas aportan el 29,30 % y 26,21 % de los ingresos al predio. También la venta de mano de obra genera para estas fincas un 25,42 % de ingresos y el 18,42 corresponde a especies menores (aves de corral) las cuales son destinadas en proporciones similares para la venta y el autoconsumo.

En promedio, los costos de mantenimiento de estos predios es de 15,12 SMM, donde la mano de obra familiar

cuesta en promedio 3,84 SMM (68,33 %); aunque esta tipología representa una característica familiar en ocasiones es necesario la contratación de mano de obra que genera un costo de 31,67 % del total requerido para el sostenimiento del sistema. Por otra parte los insumos requeridos para las actividades propias de esta tipología son en promedio anual de 82,35 % insumos externos y un 17,64 % insumos internos.

Ganadero con explotación de maderas y venta de mano de obra familiar (GaMadVmoF)

Esta tipología solo representa el 1 % del total de predios muestreados en esta unidad fisiográfica de TF Media. Estos predios en promedio tiene un área de 88,50 hectáreas que se encuentran divididas en 32,76 % pastos (gramas), 25,43 % son rastrojos, 40,73 % es cobertura boscosa y solo el 1,08 % se destina al cultivo. Los ingresos de este predio son principalmente de origen ganadero, principalmente por la producción de leche que representa el 28,92 %. De igual manera, se evidencia en esta tipología el aprovechamiento de bosque que se refiere principalmente a la venta y autoconsumo de madera y que aporta al sistema 26,09 % de los ingresos. Finalmente, la actividad de venta de mano de obra genera un ingreso de 24,26 %. Por su parte, la agricultura con cultivos como maíz y plátano aporta el 17,74 % del ingreso ya que es en mayor proporción para el sostenimiento del sistema familiar igual que las especies menores que aportan solo el 2,99 % del total de los ingresos.

El costo de la mano de obra de estos predios requiere alrededor de 4,25 SMM, donde el trabajo familiar reúne el 81,98 % de los costos del sistema. La mano de obra contratada para el predio se dirige básicamente al aprovechamiento de bosque y requiere un 18,02 %. Los insumos requeridos para el sistema productivo en un 89,52 % son de origen externo.

En promedio los predios de esta tipología tienen un área de 62 hectáreas, de las cuales el 14,96 % corresponde a pastos el 3,76 % a cultivos, el área de rastrojo es de 14,63 % y la cobertura boscosa es de 66,60 %.

En los predios que conforman esta tipología, los ingresos promedios anuales son de 10,73 SMM, donde la actividad agrícola aporta el 30,92 % de los ingresos y la venta de la mano de obra genere un ingreso de 48,12 % del total



de los ingresos al sistema productivo. Por otra parte, las actividades ganaderas en esta tipología solo aportan el 5,90 % ya que se basa en una ganadería principalmente de autoconsumo, así también las especies menores generan el 9,71 % de los ingresos principalmente de la venta de huevos y aves de corral que se usan para la venta y el sostenimiento de la unidad familiar.

Los costos de mantenimiento de los predios de esta tipología en relación con la mano de obra corresponden a 1,86 SMM, donde el trabajo familiar constituye un costo de 83,33 % y el 16,67 % restante es de trabajo contratado principalmente para labores de establecimiento y limpias. Los costos de insumos internos y externos son de 0,68 SMM y 1,31 SMM respectivamente.

Tipologías de la unidad de paisaje de vega

Según el resultado del análisis clúster el 100 % los predios ubicados en esta unidad de paisaje están dentro de la única tipología para este estrato, la tipología agrícola con venta de mano de obra familiar (figura 7).

Agrícola con venta de mano de obra familiar (AgVmoF)

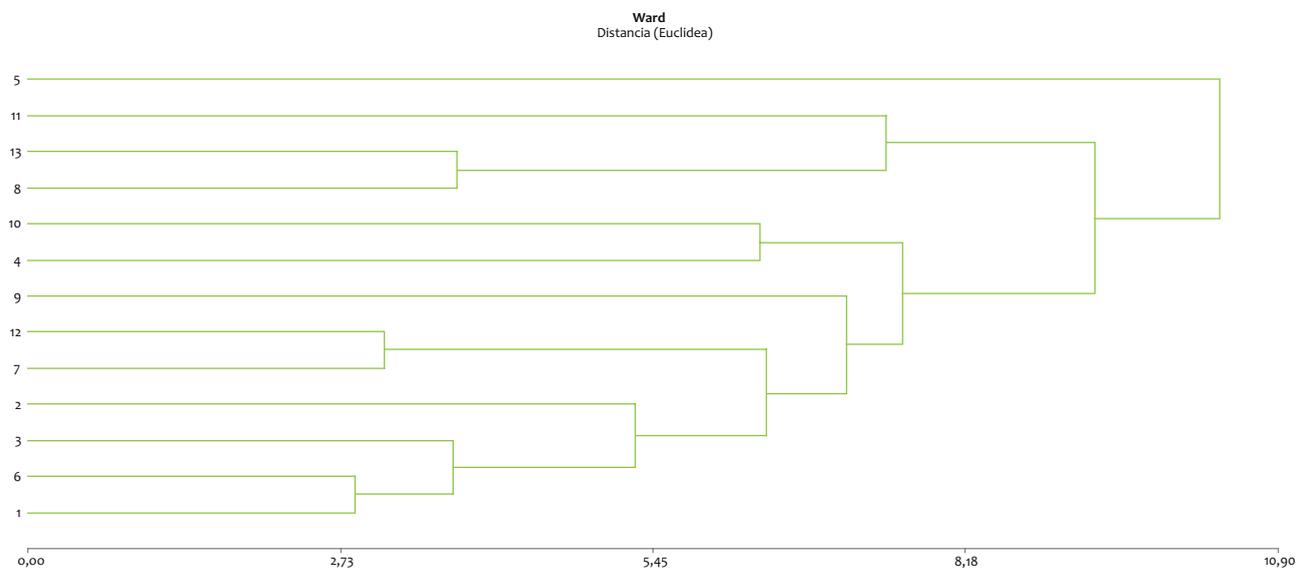
El uso del suelo en esta tipología está distribuido de la siguiente manera; un 11,22 % corresponde a pastos,

el 3,10 % a cultivos, el 36,62 % son áreas enrastradas, y un 49,05 % de bosque, además, hay un 0,34 % que corresponde a otras coberturas de suelo (áreas no cultivables). Para los predios pertenecientes a esta tipología, en promedio se cuenta con un área de 131,60 hectáreas.

Por otra parte, los ingresos de esta tipología corresponden en su mayoría a actividades agrícolas que aportan el 37,88 % de los ingresos, seguido por la venta de mano de obra que genera un ingreso de 35,50 % a la unidad productiva. Otro aporte lo hacen las especies menores que generan el 10,78 % y en menor proporción las actividades ganaderas y de aprovechamiento de bosque, que se hacen más orientadas al autoconsumo. Los ingresos promedio para este grupo de predios son de 14,23 SMM.

Durante el año la mano de obra en su mayoría es de origen familiar (75,27 %), sin embargo, hay actividades que requieren la contratación, lo que genera un costo de 1,57 SMM que se traduce a un 24,73 % de mano de obra contratada. Así también, los insumos requeridos para el sostenimiento de la unidad productiva requieren en promedio 1,10 SMM, donde el 59,34 % de estos insumos son de origen interno.

Figura 7. Dendograma de la unidad de paisaje de vega. Tipología AgVmoF



Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

En el área del proyecto se distinguen tres unidades de paisaje: las vegas o llanuras aluviales que son superficies planas amplias, formadas por la acumulación de sedimentos aluviales activos depositados en diferentes épocas del holoceno por el río Guayabero y Guaviare; las sabanas o altiplanicie comprende el tipo de relieve de mesas con inclusiones de vallecitos y lomas producto de los procesos de erosión, disección y movimientos tectónicos y la tierra firme o lomerío que comprende los tipos de relieve de lomas, mesas, terrazas y vallecitos, producto de la disección, levantamiento y fallamiento diferencial de una antigua planicie.

Con base en las unidades fisiográficas o estratos de estudio, se identificaron un total de 11 tipologías que se distribuyen de la siguiente manera: 3 en tierra firme alta intervención, 3 en tierra firme intervención media, 2 en tierra firme intervención baja, 2 en sabana y 1 en vega.

Los sistemas de producción tradicionales presentan ingresos netos muy bajos y solo dos tipologías alcanzaban las metas trazadas por el gobierno para las unidades agrícolas familiares de ese entonces. Se determinó que la agricultura ocupa un porcentaje muy bajo en la compo-

sición del uso del suelo y su participación en el mercado es mínima excepto en algunas fincas ubicadas en zonas de vega. Asimismo, la ganadería no presenta una clara especialización, y la carga animal reportada es baja en comparación con otros sectores del país, pero es la actividad con mayor peso en las tipologías de fincas caracterizadas.

Por lo general, los usos del suelo dependen en gran manera de la antigüedad del predio, de la zona biofísica en la que se encuentra, de la especialización o tendencia dentro de las actividades productivas, de la tecnología utilizada, de la educación en el manejo de recursos naturales y del rendimiento económico, entre otros aspectos. De lo anterior debe aclararse que el hecho de que la mayoría de los sistemas de producción tenga un rasgo agrícola, no significa que el mayor uso del suelo se oriente en este sentido.

Lograr evaluar los sistemas de producción desde la perspectiva de la sustentabilidad, permite contribuir con herramientas que permitan a posteriori formular políticas que propendan por el manejo más eficiente y responsable de los recursos naturales.

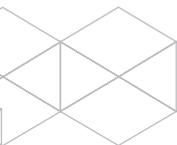


Bibliografía

- Álvarez, R. & Paz, R. (1997).** Metodología asociada al diseño de propuestas para el desarrollo de la producción lechera caprina. *Archivos de Zootecnia*, 47(175).
- Berdegúe, J., Sotomayor, O. & Silleruelo, C. (1990).** Metodología de tipificación y clasificación de sistemas de producción campesinos de la provincia de Ñuble, Chile. En *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Santiago de Chile: RIMISP; pp. 85-118.
- Bolaños, O. (1999).** Caracterización y tipificación de organizaciones de productores y productoras. *XI Congreso Nacional Agronómico / I Congreso Nacional de Extensión*. Costa Rica: Unidad de Planificación Estratégica. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Cabrera, D., García, A., Acero de la Cruz, R., Castaldo, A., Perea, J. & Martos, J. (2004).** *Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos*. Santo Domingo: Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). República Dominicana.
- Castaldo, A., Acero de la Cruz, R., García Martínez, A., Martos, J., Pamio, J. & Mendoza García, F. (2003).** Caracterización de la invernada en el nordeste de la provincia de La Pampa (Argentina). *XXIV Reunión Anual de la Asociación argentina de Economía Agraria*. Río Cuarto. Argentina.
- Castel, J. M., Mena, Y., Delgado-Pertínez, M., Camúñez, J., Basulto, J., Caravaca, F., Guzmán-Guerrero, J. L., Alcalde, M. J. (2003).** Characterization of semi-extensive goat production systems in southern Spain. *Small Ruminant Research* 47; pp. 133-143.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia Colombiana (CORPOAMAZONIA). (2008).** *Agenda Ambiental Departamento de Caquetá*. Leticia: CORPOAMAZONIA; 110 págs.
- Escobar, G. & Berdegúe, J. (1990).** *Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola*. Santiago de Chile: RIMISP; 284 p.
- Landín, R. (1990).** Tipificación de entidades geográficas y administrativas para priorizar zonas objetivo de proyectos de investigación agropecuaria. En *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Santiago de Chile: RIMISP; pp. 141-156.
- Mainar, R. C., Cuesta, P., Méndez, I., Asensio, M. A., Domínguez, L. & Vázquez-Boland, J. A. (1993).** Caracterización de la explotación ovina y caprina de la C.A.M. mediante encuestas y análisis multivariante: Bases para una planificación en ganadería y sanidad animal. *SEOC XIX*.
- Macedo, R., Galina, M. A., Zorrilla, J. M., Palma, J. M. & Pérez Guerrero, J. (2003).** Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. *Archivos de Zootecnia* 52(200); pp. 463-474.
- Mantilla, J., Arguello, A. & Méndez, H. (2000).** Caracterización y tipificación de los productores de cacao del Departamento de Santander. Bucaramanga: Corpoica. Regional siete; 41p.
- Martos Peinado, J., García Martínez, A., Rodríguez Alcaide, J. J. & Acero de la Cruz, R. (1995).** Clasificación técnico económica de las explotaciones lácteas de la Campiña Baja Cordobesa. *Archivos de Zootecnia*, 44(165); pp. 39-48.
- Ministerio de Trabajo (MinTrabajo), (2013).** *Estudio de perfil productivo rural y urbano del municipio de San José del Fragua*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Caquetá-San José del Fragua. Bogotá: MinTrabajo. 96p.
- Pardos Castillo, L., Sáez Olivito, E., González Santos, J. M. & Allueva Pinilla, A. (1999).** Caracterización técnica de explotaciones ovinas aragonesas mediante métodos estadísticos multivariantes. *SEOC XXII*.
- Paz, R., Lipshitz, H., Álvarez, R. & Usandivaras, P. (2003).** Diversidad y análisis económico en los sistemas de producción lecheros caprinos en el área de riego Del Río Dulce-Santiago del Estero-Argentina. *ITEA* 99A(1); pp. 10-40.



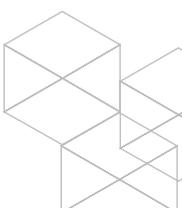
- Rapey, H.,** Lifran, R. & Valadier, A. (2001). Identifying social, economic and technical determinants of silvopastoral practices in temperate uplands: results of a survey in the Massif central region of France. *Agricultural Systems* 69; pp. 119- 135.
- Romero, C.** (1994). *Esquema integral de caracterización*. Bogotá: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. Programa Nacional de Agroecosistemas. C.I. Tibaitatá. 12 p.
- Siegmund-Schultze, M.** & Rischkowsky, B. (2001). Relating household characteristics to urban sheep keeping in West Africa. *Agricultural Systems* 67; pp 139-152.
- Sraïri, M. T.** & Lyoubi, R. (2003). Typology of dairy farming systems in Rabat Suburban region, Morocco. *Archivos de zootecnia* 52; pp. 47-58.
- Suarez, G.** (1996). La tipificación y caracterización de sistemas de producción. En *Análisis biológico y matemático de sistemas de producción*. Quito: INIAP-FUNDAGRO; pp. 205-211.
- Suárez, R.** & Escobar, L. (1990). Tipificación de fincas en la comarca de Fusagasuga, Colombia, según sus tendencias de cambio técnico. En *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Santiago de Chile: RIMISP; pp. 181-200.



9.

Mapeo a Escala 1:100.000 de Zonas Prioritarias para el Manejo de Relictos de Bosque Natural y Recuperación de Conectividades en el Departamento del Guaviare

Andrea Mateus, Sandra Castro,
Bernardo Giraldo y Jaime Barrera



Resumen

El Instituto SINCHI en cumplimiento de su objeto misional desarrolló el proyecto *Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare* financiado por el fondo de regalías, cuyo propósito fue “Generar conocimiento e información técnica y científica determinante sobre los bienes y servicios que prestan los relictos del bosque para el mejoramiento de paisajes productivos en el Guaviare que maximicen la conservación de la biodiversidad y los beneficios para el bienestar humano de las comunidades locales”. Con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto, el grupo de trabajo realizó los análisis tendientes a establecer el estado actual del territorio y sus dinámicas, para determinar las necesidades de intervención y definir los sitios prioritarios para llevar a cabo la implementación del proyecto. Para ello, se generó un modelo de análisis espacial que se adecuara a la evaluación de las características del territorio y sus ocupantes, el cual fue aplicado utilizando herramientas digitales adecuadas para la toma de decisiones.

El proyecto vinculó a 400 campesinos y colonos mediante la firma de acuerdos de conservación de bosques, planificación predial y otras acciones de intervención. Todas estas acciones se desarrollaron a través de análisis cartográficos y trabajo de campo en el territorio mediante actividades aplicadas localmente, de tal forma, que se pudieran planificar y evaluar las implicaciones ambientales de las acciones a implementar para lograr la conectividad y conservación en el área del proyecto y establecer las variables territoriales que incidían en la deforestación.

El análisis permite mencionar qué área de estudio presenta condiciones más favorables para la conservación y recuperación de las condiciones ambientales de conectividad en los límites de la zona de estudio con el río Guaviare y la reserva forestal, mientras que hacia el interior se presenta una tendencia mayor a la deforestación y la pérdida de las mismas.

Palabras clave: *Relictos, recuperación, conectividad, bosque, manejo sostenible, zona prioritaria*

Introducción

El conocimiento y planificación del territorio tienen una connotación espacial que permite determinar estas dinámicas y sus tendencias en el tiempo, para lo cual es necesario establecer el contexto geográfico y las variables que inciden en su surgimiento y permanencia para así establecer las prioridades de atención para su modificación, lo que hace que sea necesario establecer el contexto geográfico y la determinación de las variables que inciden en la zona de estudio, así como la descripción de la zona de influencia y unidades prediales.

Los mapas constituyen un insumo necesario para conocer el uso actual del suelo, los conflictos de uso del territorio y realizar un seguimiento a los procesos de deforestación y a las formas de ocupación territorial, a diferentes niveles de observación, tanto a nivel regional, veredal y predial.

En este sentido, este artículo presenta el trabajo cartográfico realizado para el diagnóstico del proyecto; los análisis espaciales y generación de mapas para el apoyo al conocimiento y la planificación del territorio en que se localiza el proyecto y las acciones implementadas para enfrentar el vacío cartográfico a escalas apropiadas existente en el departamento del Guaviare.

Métodos

Cuando se plantea un proyecto de impacto territorial, surgen diversas preguntas: ¿En dónde es más efectivo realizar la intervención? ¿Cuáles son las condiciones que deben caracterizar el territorio para que los objetivos del proyecto sean más fáciles de alcanzar y sostenibles en el tiempo? ¿Qué zonas presentan la problemática que se busca solucionar con el proyecto? Infortunadamente, es común que los tomadores de decisiones identifiquen las zonas piloto para el desarrollo de proyectos motivados por percepciones propias de la realidad y su conocimiento personal sobre el área de estudio.

En este sentido, el Instituto SINCHI, consciente de la importancia de definir en forma objetiva el área geográfica para la realización del proyecto, llevó a cabo



un ejercicio de priorización y selección de áreas (en este caso predios) con una alta probabilidad de que ante la realización de acuerdos de conservación e intervención a los sistemas productivos se alcanzara el mejoramiento de los paisajes productivos del Guaviare, maximizando la conservación de la biodiversidad y los beneficios para el bienestar humano de las comunidades locales.

En este contexto, la generación de la cartografía y el análisis espacial del proyecto se realizaron en dos niveles de aproximación al territorio:

- El primer nivel de aproximación consistió en un análisis a nivel regional, que permitió determinar las zonas prioritarias del proyecto, para lo que se utilizaron insumos cartográficos existentes para el departamento del Guaviare a escala 1:100.000. A partir de estos insumos se realizaron los análisis territoriales de contexto, en los cuales se priorizaron las veredas en las que se llevaría a cabo el proceso de socialización para determinar el área de influencia del proyecto y dónde se realizarían las acciones para el mantenimiento y recuperación de conectividades.
- En el segundo nivel de aproximación se llevó a cabo un análisis a nivel veredal para el cual fue necesario generar elementos propios de cartografía básica y temática a escala 1:25.000, ya que el país no cuenta con estos insumos. La finalidad de este ejercicio fue obtener la línea base, determinando las coberturas existentes en cada vereda vinculada al proyecto.

Análisis regional: propuesta metodológica para la identificación de áreas prioritarias

La metodología para el análisis regional se dividió en tres etapas: durante la primera se realizó la definición del área macro; en la segunda se construyó e implementó un modelo espacial que permitió identificar las zonas prioritarias al interior del área macro y en la tercera se llevó a cabo la priorización veredal.

Definición del área macro

El área macro es la porción del territorio en donde es posible desarrollar el proyecto, se define como el área sustraída de la reserva forestal de la Amazonia en el departamento del Guaviare, en la cual no se localizan resguardos indígenas ni áreas protegidas; con un moderado grado de intervención antrópica y con procesos de conformación veredal.

En este sentido el proceso para la definición del área macro tuvo en cuenta las variables restrictivas del proyecto: estado legal del territorio, grado de intervención antrópica y conformación veredal.

Al área obtenida en el primer paso se le eliminaron: a) las áreas con transformación alta, en las que se consideró, para efectos del proyecto, que la transformación había alcanzado niveles tales que se hacía imposible la recuperación o mantenimiento del ecosistema y b) las áreas no intervenidas, que se consideró en el momento no requerían de manejo; seleccionando para el proyecto aquellas áreas con intervenciones media y baja. Como resultado de este proceso se obtuvieron tres núcleos que cumplían con las características establecidas.

Como último paso se llevó a cabo el cruce del área obtenida en la segunda etapa con la división veredal del departamento, para determinar las zonas que contaban con conformación veredal de acuerdo con la cartografía 1:100.000 existente de la gobernación del Guaviare.

Definición de las zonas prioritarias

La siguiente etapa del análisis regional consistió en la determinación de las zonas prioritarias al interior del área macro. Para su determinación se llevó a cabo un análisis espacial multicriterio, con el fin de obtener las áreas más adecuadas para la implementación del proyecto. Para ello, se tomó como base el método de sumatoria *lineal ponderada* desarrollado por Gómez y Barredo (2006), el cual consiste en generar una ecuación para evaluar las alternativas mediante la sumatoria de los productos de valor de cada criterio por su peso (figura 2).

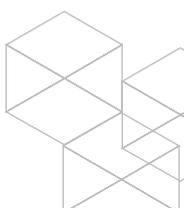


Figura 2. Ecuación del método de sumatoria lineal ponderada

$$r_i = \sum_{j=1}^n W_j V_{ij} \text{ en donde}$$

r_i nivel de adecuación de la alternativa
 W_j es el peso del criterio j
 V_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

Fuente: Gómez y Barredo, 2006.

Junto con el equipo técnico del proyecto, se realizó la adaptación de este método con el fin de generar un modelo aplicable al área de trabajo, de este proceso se obtuvieron dos productos: la ecuación ajustada a las necesidades del proyecto (tabla 2) y los criterios de análisis para la calificación del territorio (figura 3 y tabla 3).

Tabla 1. Ecuación del modelo

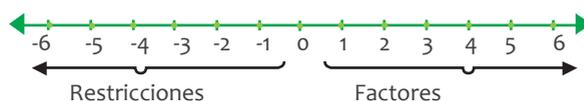
$$ZP = [(2,5 * C) + (1 * B) + (2,5 * S) + (2 * P) + (2 * D)]$$

ZP = Zonas prioritarias para el mantenimiento y recuperación de conectividades
 B = Biodiversidad
 S = Social
 C = Conectividad
 P = Sostenibilidad de la producción
 D = Escenarios presentes y futuros de deforestación

Fuente: Elaboración propia

Para la calificación de los criterios y sus variables dentro del modelo, fue necesario realizar la estandarización de la cartografía, para ello, las capas a trabajar (cada una de las cuales correspondía a un criterio o a una variable de un criterio) se llevaron a una escala comparable, que consistió en transformar las leyendas propias del insumo a una escala numérica, con una calificación con valores numéricos entre -6 y 6. Los valores negativos representaban condiciones que restringían el desarrollo del proyecto y los valores positivos representaban condiciones favorables. El valor 0 se asignó a aquellas variables analizadas no relevantes para la priorización (figura 4 y tabla 3).

Figura 4. Calificación asignada a los criterios de priorización



Fuente: Elaboración propia

El último paso consistió en la implementación del modelo, una vez calificadas las variables para cada criterio de priorización y obtenida la fórmula se procedió a introducir los resultados en el modelo con el fin de realizar el análisis de la información. Para ello se utilizó el software ArcGis 10.1, con sus herramientas de análisis multicriterio (tabla 2).

Tabla 2. Herramientas de análisis multicriterio utilizadas para la implementación del modelo

| Herramienta | Descripción |
|------------------------|--|
| Model Builder | Permite crear el flujo de trabajo de los pasos de la evaluación y facilita el control, modificación y documentación de los procesos incluidos en la evaluación multicriterio. En la representación gráfica de los modelos para el estudio los óvalos representan las capas espaciales, los rectángulos los procesos y las flechas los flujos de trabajo; las capas en azul son las capas de entrada al modelo y las verdes las generadas en los procesos. |
| Reclasify | Facilita el trabajo de estandarización, el usuario ingresa los valores y controla la reclasificación. |
| Slice | En este proceso de reclasificación el software controla el proceso mediante una función aritmética de división parecida al proceso de máxima estandarización. |
| Wighted overlay | Permite generar las alternativas a partir del cálculo con múltiples criterios, al tiempo que permite estandarizar los raster de entrada al modelo y asignar el porcentaje de peso para cada uno de estos. |
| Wighted sum | Esta herramienta permite, al igual que <i>Wighted overlay</i> , generar las alternativas a partir del cálculo con múltiples criterios, asignando el porcentaje de peso para cada uno de estos, pero no permite estandarizar. |

Fuente: Modificado por el proyecto de Sendra et al., (2008)



Para la implementación del modelo se utilizó la información existente para el departamento del Guaviare relativa a: cartografía básica a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y cartografía temática a escala 1:100.000 y 1:500.000, de fuentes como el IDEAM y el SINCHI.

Priorización veredal

Una vez finalizado el proceso de selección de las zonas prioritarias, se procedió a realizar la priorización veredal, para lo cual se llevó a cabo la superposición cartográfica de las veredas y la capa de zonas prioritarias con el fin de conocer el porcentaje de área de las veredas en la zona sustraída, para de esta forma seleccionar las veredas más favorables para iniciar los procesos de socialización y definición del área de influencia del proyecto.

Análisis veredal: definición de la línea base en la zona de influencia del proyecto

Para el área de influencia del proyecto se generó la línea base del proyecto o período cero, cuyo propósito era brindar la información necesaria sobre el estado del área antes de iniciarse el proceso de implementación del proyecto.

Teniendo en cuenta que para la Amazonia colombiana el Instituto SINCHI solo contaba, al momento de realización del proyecto, con capas de cobertura de la tierra a escala 1:100.000 para diferentes periodos de tiempo, escala que no presenta un nivel de detalle local suficiente para realizar análisis veredales sobre dinámicas de deforestación, conectividad ecológica o seguimiento a acuerdos de conservación a nivel predial, entre otros

análisis; el proyecto vio la necesidad de generar un mapa de coberturas de la tierra para el área del proyecto a nivel semidetallado (escala 1:25.000) con una unidad mínima cartografiable de 1 ha y hasta de 0,5 ha al interior de las coberturas boscosas, que se consideró suficiente para realizar los análisis que requería el proyecto.

Para esta labor se retomó la leyenda nacional escala 1:100.000 de la metodología *CORINE Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) de la siguiente forma: a) para cultivos transitorios nivel dos, pues no se diferenció entre tipos de cultivos; b) para territorios artificializados, territorios agrícolas relacionados con cultivos permanentes, pastos, mosaicos, áreas húmedas y superficies de agua nivel tres; c) para bosques y áreas seminaturales en algunos casos se llegó a nivel cinco. No se tuvo en cuenta el bosque fragmentado, pues su inclusión dificultaba los ejercicios de análisis de conectividad espacial de los bosques, así como la estimación de los bienes y servicios ecosistémicos al interior de estos. Se incluyó la cobertura de bosque intervenido y se documentó de acuerdo con la información colectada en campo. Otro aspecto que se analizó fue el bosque de galería, diferenciado en bosque de galería en estado natural y bosque de galería intervenido o asociado a vegetación secundaria. Los atributos de la tabla del shapefile fueron los mismos definidos para la capa de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 del SINCHI.

Como soporte al proceso de interpretación se llevaron a cabo visitas de campo en las que se corroboró la información capturada en pantalla y se tomaron patrones para diferentes tipos de coberturas (figura 5).



Figura 5. Ejemplo de patronamiento y corroboración de coberturas en campo



Fuente: Elaboración propia

Las coberturas obtenidas se agruparon en los siguientes niveles con el fin de consolidar la línea base del proyecto, es decir calcular el valor de los indicadores de cobertura en el año cero (2014), para entender a nivel veredal el estado de las coberturas se realizó una clasificación de la siguiente forma:

Pastizales. En esta categoría se encuentran los pastizales, que fueron clasificados de acuerdo con Murcia, Huertas, Rodríguez y Castellanos, (2011; p. 89). Esta unidad permite identificar la presión ejercida sobre el bosque, pues en la zona de estudio la pérdida de las masas forestales está relacionada principalmente con la ampliación de praderas.

Bosques Naturales. En esta categoría se incluyeron las coberturas del segundo nivel de la leyenda *corine* 3.1 excluyendo las plantaciones forestales; es decir, incluye los bosques naturales ya sean inundables como de tierra firme, los bosques de galería o riparios, y los bosques intervenidos o secundarios. Esta unidad de cobertura permite identificar las áreas de bosque que en el área de estudio se están conservando o se están deforestando.

Herbazales y arbustales. Incluye otras coberturas vegetales naturales de importancia en la conservación en la zona norte del proyecto en las veredas Sabanas de la Fuga, las Dunas y el Boquerón; relacionadas con los códigos 321 y 322 del tercer nivel de la leyenda.

Vegetación secundaria. Incluye la vegetación secundaria tanto alta como baja. Este grupo de coberturas en la zona de estudio está relacionada con áreas abandonadas que están en proceso de regeneración o áreas que en el ciclo productivo hacen parte de la producción de alimentos.

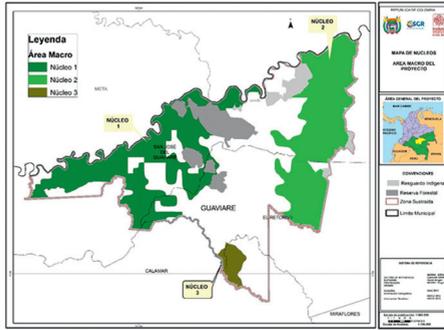
Otras coberturas. En esta categoría se incluyen las demás coberturas que no revisten importancia en la línea base o en el seguimiento y evaluación del proyecto.

Resultados

Análisis regional identificación de áreas prioritarias y área de influencia del proyecto

El análisis espacial de zonas prioritarias se realizó en tres áreas geográficas con procesos de conformación veredal en la zona sustraída de la reserva forestal de la Amazonia con una moderada a baja intervención de las coberturas naturales; en las cuales se encontraron relictos de bosque natural importantes para la recuperación y mantenimiento de la conectividad, teniendo en cuenta en la zona de estudio la matriz de bosque principal se extiende hacia la zona de reserva forestal de la Amazonia, que en general presenta unas mejores condiciones de la masa forestal que la zona sustraída.

Mapa 1. Núcleos de análisis

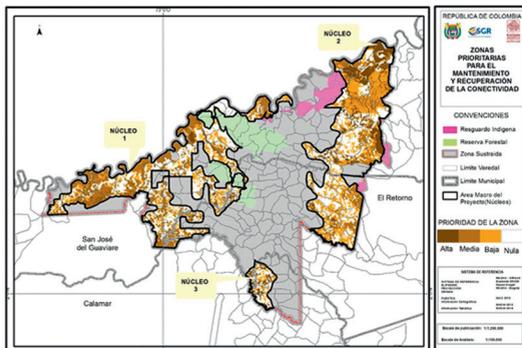


Fuente: Elaboración propia

El ejercicio de zonas prioritarias en el área macro arrojó como resultado una capa raster, en la cual el área de estudio es dividida en una matriz de celdas, y cada celda obtiene un valor resultante de la ponderación, en una escala de -1 a 6; siendo -1 las zonas menos favorables y 6 las zonas con condiciones ideales para desarrollar el proyecto.

El 43 % del área analizada no presenta condiciones favorables para el desarrollo del proyecto, debido principalmente a ser áreas de mayor intervención antrópica en donde la conectividad es más difícil de recuperar; el 23% del área presenta condiciones favorables en algunos criterios evaluados. Las áreas de media y alta prioridad, ocupan el 34 % del área macro en las cuales se presentan condiciones favorables para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto.

Mapa 2. Zonas prioritarias para el manejo de relictos de bosque natural y recuperación de conectividades en el departamento del Guaviare



Fuente: Elaboración propia

Estas áreas de media y alta prioridad se encuentran contiguas a la zona de reserva forestal de la Amazonia,

debido a que la conectividad de los relictos de bosque de la zona sustraída se puede mantener o recuperar pensando en la matriz de bosque principal que se extiende al interior de la zona de reserva; área geográfica que en general se encuentra con menor intervención antrópica.

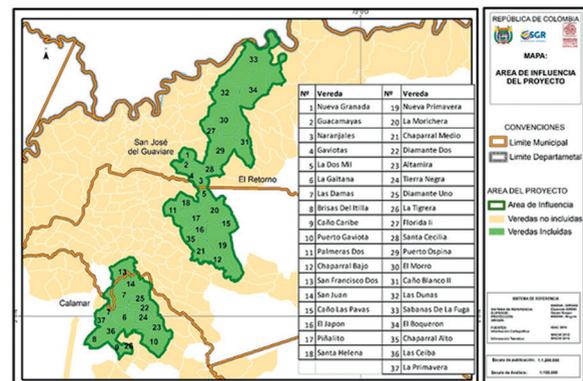
Tabla 3. Resultado mapa zonas prioritarias en el área macro

| Prioridad | Valor obtenido en la ponderación | Número de celdas | Porcentaje de celdas |
|-----------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| No prioritario | -1, 0, 1 | 11824265 | 43% |
| Baja prioridad | 2 | 6333422 | 23% |
| Media prioridad | 3 | 6571050 | 24% |
| Alta prioridad | 4, 5, 6 | 2582883 | 10% |

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el mapa de zonas prioritarias se identificaron las veredas con mayor extensión en media y alta prioridad, en las cuales se adelantaron jornadas de socialización y vinculación de campesinos al proyecto; en las que se incluyeron algunas áreas al interior de la zona de Reserva Forestal de la Amazonia, dado que en las resultados preliminares de avance del año 2014 se evidenció la necesidad de vincular algunas de estas veredas.

Mapa 3. Área de influencia del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Al finalizar el análisis regional se obtuvo como resultado la definición del área de influencia del proyecto, generada como la agregación cartográfica de las 37 veredas con usuarios vinculados. La extensión de la vereda que se incorpora al área del proyecto, corresponde al área veredal que no se traslapa con resguardos indígenas o áreas protegidas:

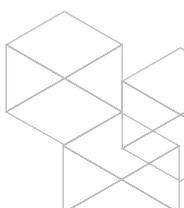


Tabla 4. Veredas área de influencia del proyecto: producto del análisis regional

| Municipio | vereda | Área total de la vereda (ha) | Área de la vereda en área de influencia del proyecto (ha) |
|------------------------------------|--------------------|------------------------------|---|
| El Retorno | Caño Las Pavas | 3804 | 3749 |
| | Chaparral Alto | 2514 | 2512 |
| | Chaparral Bajo | 3864 | 3861 |
| | Chaparral Medio | 3112 | 3109 |
| | El Japón | 2352 | 2350 |
| | La Dos Mil | 1894 | 1893 |
| | La Morichera | 6073 | 5855 |
| | Nueva Primavera | 7283 | 7277 |
| | Palmeras Dos | 3797 | 3794 |
| | Piñalito | 2387 | 2385 |
| Santa Helena | 3295 | 3293 | |
| Total el Retorno | | 40376 | 40078 |
| San José del Guaviare | Caño Blanco II | 8699 | 7645 |
| | El Boqueron | 8177 | 8169 |
| | El Morro | 6854 | 6848 |
| | Florida II | 3058 | 3055 |
| | Gaviotas | 789 | 788 |
| | Guacamayas | 3004 | 3002 |
| | Las Dunas | 5449 | 5259 |
| | Naranjales | 1766 | 1764 |
| | Nueva Granada | 1760 | 1759 |
| | Puerto Ospina | 7256 | 7249 |
| | Sabanas de La Fuga | 16753 | 16737 |
| Santa Cecilia | 2510 | 2508 | |
| Total San José del Guaviare | | 66074 | 64783 |
| Calamar | Altamira | 3303 | 3303 |
| | Brisas Del Itilla | 2524 | 2524 |
| | Calamar | 67 | 67 |
| | Caño Caribe | 1366 | 1366 |
| | Diamante Dos | 2978 | 2978 |
| | Diamante Uno | 1556 | 1556 |
| | El Rebalse | 1887 | 1887 |
| | El Triunfo | 3701 | 3701 |
| | La Cristalina | 1268 | 1268 |
| | La Esmeralda | 2196 | 2196 |
| | La Gaitana | 5265 | 5265 |
| | La Primavera | 2443 | 2443 |
| | La Tigra | 839 | 839 |
| | Las Ceiba | 3395 | 3395 |
| | Las Damas | 7477 | 7477 |
| | Patio Bonito | 2613 | 2613 |
| | Puerto Cubarro | 4143 | 4143 |
| | Puerto Gaviota | 5016 | 5016 |
| | Puerto Polaco | 5876 | 4995 |
| | San Francisco Dos | 5341 | 5341 |
| San Juan | 1072 | 1072 | |
| Tierra Negra | 2326 | 2326 | |
| Total Calamar | | 66652 | 65771 |
| Total | | 173102 | 170632 |

Fuente: Elaboración propia



El proceso de socialización del proyecto logró vincular 400 predios, que pasaron a formar parte del área de influencia del proyecto y cuyos propietarios firmaron los acuerdos de conservación de bosques y entraron en proceso de intervención para la realización de la planificación predial y demás acciones de intervención.

Línea base del proyecto, mapa de coberturas año 2014

Para el área de influencia del proyecto se generó una propuesta metodológica para realizar mapas de coberturas de la tierra a escala 1:25.000 que incluye la consolidación

de la leyenda para el área de estudio, la descripción de patrones de interpretación, resultados del trabajo de campo, y descripción del proceso de interpretación y procesos para consolidar de la capa espacial resultante.

Siguiendo la metodología propuesta se realizó la interpretación de imágenes satelitales del sensor *RapidEye* tomadas en enero del 2014, con el fin de establecer la línea base del proyecto y generar insumo para el ordenamiento ambiental y productivo de las veredas que hacen parte del área de influencia del proyecto y las unidades prediales.



Tabla 5. Cobertura de la tierra en el 2014 en el área de influencia del proyecto

| Código | Cobertura | Área (ha) | Área (%) |
|---|---|---------------|--------------|
| 111 | Tejido urbano continuo | 173 | 0,1% |
| 112 | Tejido urbano discontinuo | 2 | 0,0% |
| 122 | Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 597 | 0,3% |
| Sub total territorios artificializados | | 772 | 0,5% |
| 21 | Cultivos transitorios | 855 | 0,5% |
| 221 | Cultivos permanentes herbáceos | 40 | 0,0% |
| 222 | Cultivos permanentes arbustivos | 4 | 0,0% |
| 223 | Cultivos permanentes arbóreos | 29 | 0,0% |
| 241 | Mosaico de cultivos | 1125 | 0,7% |
| 245 | Mosaico de cultivos y espacios naturales | 525 | 0,3% |
| Clasificación cultivos | | 2578 | 1,5% |
| 231 | Pastos limpios | 34342 | 20,1% |
| 232 | Pastos arbolados | 970 | 0,6% |
| 233 | Pastos enmalezados | 11134 | 6,5% |
| 242 | Mosaico de pastos y cultivos | 5634 | 3,3% |
| 243 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 4114 | 2,4% |
| 244 | Mosaico de pastos con espacios naturales | 2353 | 1,4% |
| Clasificación pastizales | | 58548 | 34,3% |
| Subtotal territorios agrícolas | | 63704 | 35,8% |
| 31111 | Bosque denso alto de tierra firme | 28631 | 16,8% |
| 31112 | Bosque denso alto inundable heterogéneo | 14089 | 8,3% |
| 3141 | Bosque de galería denso | 5376 | 3,2% |
| 3142 | Bosque de galería intervenido y/ o asociado a vegetación secundaria | 1890 | 1,1% |
| 316 | Bosque intervenido o secundario | 17569 | 10,3% |
| Subtotal bosques naturales | | 67555 | 39,6% |
| 321111 | Herbazal denso de tierra firme no arbolado | 3804 | 2,2% |
| 321112 | Herbazal denso de tierra firme arbolado | 291 | 0,2% |
| 321113 | Herbazal denso de tierra firme con arbustos | 1094 | 0,6% |
| 321121 | Herbazal denso inundable no arbolado | 2155 | 1,3% |
| 321122 | Herbazal denso inundable arbolado | 38 | 0,0% |
| 3221 | Arbustal denso | 170 | 0,1% |
| 3222 | Arbustal abierto | 40 | 0,0% |
| Subtotal herbazales y arbustales | | 7592 | 4,4% |
| 3231 | Vegetación secundaria alta | 16844 | 9,9% |
| 3232 | Vegetación secundaria baja | 11820 | 6,9% |
| Subtotal vegetación secundaria | | 28664 | 16,8% |
| 3152 | Plantación de latifoliadas | 156 | 0,1% |
| 331 | Zonas arenosas naturales | 15 | 0,0% |
| 334 | Zonas quemadas | 2929 | 1,7% |
| 411 | Zonas pantanosas | 632 | 0,4% |
| 511 | Ríos | 339 | 0,2% |
| 512 | Lagunas, lagos y ciénagas naturales | 76 | 0,0% |
| 99 | Nube | 774 | 0,5% |
| Subtotal otras coberturas | | 4921 | 2,9% |
| TOTAL | | 170630 | 100% |

Fuente: Elaboración propia



Según los resultados del mapa, en el año cero del proyecto los bosques naturales tenían una extensión de 67.555 ha en el área de influencia del proyecto, siendo este el valor a tener en cuenta en la fase de evaluación y seguimiento del proyecto cuando se realice el cálculo del área perdida en bosque en los periodos de tiempo del monitoreo. Los tres grupos de coberturas de importancia para el proyecto tienen una representatividad del 91 % del área de estudio, bosque natural, vegetación secundaria y pastizales.

Tabla 6. línea base de los indicadores de coberturas vegetales para el área del proyecto

| Nombre del indicador (componente monitoreo) | Nombre de la categoría de cobertura utilizada en el cálculo | Valor en el año cero (2014) Área ha | Valor en el año cero (2014) Área % |
|---|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| Praderización | Pastizales | 58548 | 34% |
| Pérdida de bosques | Bosques Naturales | 67555 | 40% |
| Dinámica vegetación secundaria | Vegetación Secundaria | 28664 | 17% |
| Total coberturas línea base de indicadores | | 15.4767 | 91% |

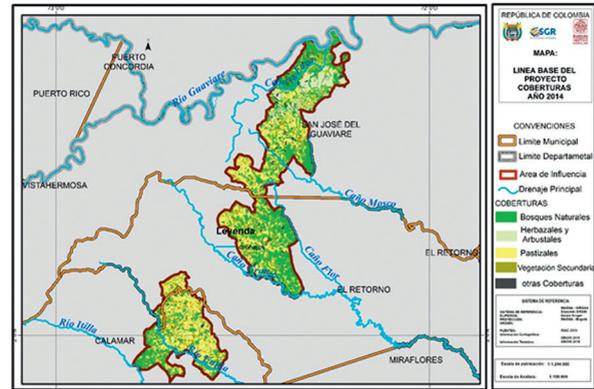
Fuente: Elaboración propia

En el área de estudio se evidencia la presencia de cuatro zonas de conservación de masas forestales; la primera en la zona sur en el municipio de Calamar entre los ríos Unilla e Itilla en zona de reserva forestal de la Amazonia tipo B, la segunda en el municipio del retorno entre caño grande y caño flor en zona de reserva forestal de la Amazonia tipo A y parte de zona sustraída; una tercera zona de menor extensión en San José del Guaviare en la cuenca de caño mosco cuya conservación se puede atribuir a la cercanía con el resguardo indígena Nukak Maku y por último una amplia zona de bosques riparios y bosque denso inundable entre el caño La Fuga y el río Guaviare.

En general, la localización de estas cuatro zonas de conservación comparten dos características a nivel general, una de ellas es que su ubicación está relacionada con el curso de los drenajes principales de las cuencas hidrográficas e influenciada por la cercanía a zona de reserva forestal de la Amazonia o a resguardos indígenas y la segunda condición es que estas zonas son las más alejadas

en el área de estudio de la vía principal que comunica las zonas urbanas de San José del Guaviare, el Retorno y Calamar.

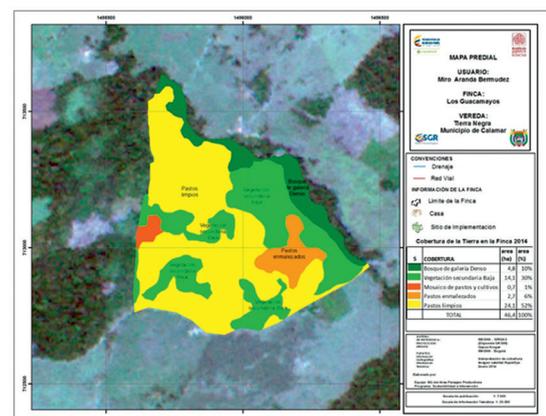
Mapa 4. Línea base del proyecto: coberturas de la tierra en el año 2014



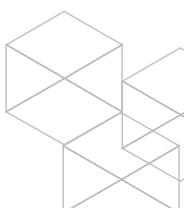
Fuente: Elaboración propia

El mapa de coberturas permitió al proyecto conocer la extensión del bosque natural en los predios vinculados al proyecto en el momento de la firma del acuerdo de conservación, identificar el uso actual del suelo en el año de inicio del proyecto y brindar información para el ejercicio de planificación ambiental y productiva a nivel predial; así como ofrecer al campesino una herramienta para conocer su territorio.

Mapa 5. Ejemplo de mapa coberturas de la tierra a nivel predial



Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

Los métodos de análisis espacial aplicado a la toma de decisiones en el territorio constituyen una herramienta eficiente en la priorización de áreas a intervenir en la lucha contra la deforestación.

En el desarrollo del proceso se evidenció que el país tiene vacíos de información en el departamento del Guaviare, tanto en lo relativo a cartografía básica y temática a escalas semidetalladas y detalladas, necesarias para la planificación, evaluación de estado y seguimiento a programas y proyectos que se desarrollen localmente.

La cartografía y el uso de los sistemas de información geográfica facilitaron la planificación del proyecto en el territorio, permitieron conocer el uso actual del sue-

lo, los conflictos de uso, planificar el seguimiento a los procesos de deforestación y entender las formas de ocupación territorial.

El proyecto se implementó en una zona con una alta dinámica de deforestación pero que en el año 2014 aún conserva el 40 % del área en coberturas boscosas importantes para el mantenimiento y recuperación de la conectividad, con una alta representatividad de bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable heterogéneo y bosques de galería y/o ripario. Debido a la dinámica de intervención propia del departamento del Guaviare fue necesario mapear unidades de bosque intervenido y/o bosque secundario.

Referencias

- Alarcón, V.** (2006). *Desarrollo de sistemas de información: una metodología basada en el modelado*. Barcelona: Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- Alonso.** (2006). *Caracterización de las imágenes de satélite*. Recuperado de http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node71_mn.html.
- Cobo, A.** (2008). *Diseño y programación bases de datos nuevos métodos de valoración: Modelos Multicriterio*. Madrid: Visión Libros.
- ESRI.** (sf). *Biblioteca de ayuda de ArcGIS en la web*. Recuperado de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/>
- Gómez, M. & Barredo, J. I.** (2006). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: Ra-Ma.
- IDEAM.** (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 72p.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI** (2007). *Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia colombiana SIAT-AC: Diseño de la línea base de información ambiental sobre los recursos naturales y el medio ambiente en la Amazonia colombiana: Bases Conceptuales y Metodológicas*. Bogotá: Uriel Gonzalo Murcia García. 213p.
- Murcia, G. U. G., Huertas, M. C., Rodríguez, J. M. & Castellanos, H. O.** (2011). *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 226 p.
- Sendra, J. B., Gómez, M. & López, V.** (2008). *Flexibilidad de los SIG para asistir a la toma de decisiones espaciales*. Madrid: Universidad de Alcalá.
- SINCHI - Rodríguez Rondón, J. M.** (2013). *Metodología para la Generación de Cuatro Estratos de Intervención Antrópica en la Amazonia Colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 14 p.
- SINCHI.** (2014). *Lineamientos de la propuesta de estandarización de proceso de creación, documentación, contenidos y gestión de cada una de las geodatabase del laboratorio de SIG y SR. Versión 7.0*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas.
- UNAD,** (s.f.). *Cartografía digital y SIG*. Recuperado de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/712001/Contenidos/Material_didactico/cartografa_digital_y_sig.html



10.

Valoración Económica de Servicios Ecosistémicos Asociados al Recurso Hídrico a Nivel Predial en Guaviare

Carlos Moreno, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo



Resumen

En términos concretos, el servicio ambiental de regulación del agua lluvia generado por el bosque alto denso de tierra firme es importante para cualquier actor social que desarrolle actividades económicas donde es indispensable ese recurso natural. Pese a conocerse esta importancia, con el permanente avance de la deforestación dentro del área de estudio, se viene disminuyendo cada vez más la probabilidad de continuar disfrutando este beneficio indirecto que suministra dicha cobertura forestal, dado que su conversión hacia otros usos del suelo contribuye a que se reduzca la disponibilidad real de este recurso natural (agua), lo cual puede ocasionar entre otros efectos negativos pérdidas en productividad de bienes agrícolas (cultivos comerciales, pancoger) y pecuarios (ganado).

Considerando la relación directa que existe entre el área en bosque y los servicios hídricos (regulación del agua lluvia), la esencia del anterior contexto teórico permite establecer que no tiene relevancia tratar de cuantificar cuanto más podría ganarse vía ingresos si se tiene disponible una mayor cantidad de agua debido a que el bosque no está incrementando su cobertura, al contrario, se viene reduciendo. Desde esta perspectiva, lo indicado es calcular en términos económicos el impacto ‘no deseado’ que tendría la pérdida total o parcial del servicio de regulación del agua lluvia, por causa de la deforestación, en el nivel de ingreso monetario que actualmente genera la ganadería y en menor medida la agricultura porque son las actividades productivas más importantes dentro del área de estudio.

Este último cálculo, aunque conceptualmente es un egreso, con quienes tienen la tenencia de la tierra donde se hallan localizados los bosques puede ser usado como una referencia válida para valorar, por parte de dichos actores, la importancia de conservarlos en razón a los recursos monetarios que este ecosistema les ayuda a no perder. Es esencial mencionar, que el ingreso es la variable utilizada para proyectar, en escenarios de 20 años, la potencial pérdida financiera sufrida por los productores agropecuarios considerando que el recurso agua, como otro insumo para la producción, reduce su disponibilidad por la afectación del servicio regulador que presta el bosque. Esta proyección permitirá precisar, cómo cambian magnitud

des y/u órdenes en la actual estructura de ingresos que presenta cada uno de los nueve sistemas productivos tipificados por el Instituto SINCHI (2015) dentro del estrato de tierra firme con intervención alta, media y baja.

La información concerniente al ingreso (variable de modelación), corresponde a la ‘proxy’ estimada del valor que podrían perder quienes tienen la tenencia de la tierra donde están localizados, solamente, los relictos de bosque y la vegetación secundaria que proporciona el servicio de regulación del agua lluvia. El cálculo de la aproximación a ese valor se realizó en el ámbito del *Estudio de valoración económica de tres servicios ecosistémicos del área general de estudio*, y su estimación permite complementar el análisis que contribuirá a definir si la compra – venta de servicios ambientales puede ser una estrategia válida para conservar biodiversidad a escala predial.

Palabras Clave: Servicios ambientales, regulación del agua lluvia, valoración, tipologías, bosque, deforestación, pérdidas en productividad, ingreso, sistemas productivos

Introducción

El concepto servicios ambientales – SA, en su contexto más amplio hace referencia a todos “los beneficios directos e indirectos que la gente, las comunidades y la economía obtienen de las funciones que se generan en los ecosistemas naturales” (World Resources Institute, 2005). Seguir este mismo raciocinio conceptual, permite establecer que la noción *servicios ambientales hídricos – SAH* se inscribe en el ámbito de los beneficios que distintos actores sociales, localizados en un área determinada, obtienen por la interacción de los diferentes componentes estructurales que conforman los ecosistemas ahí existentes, en términos de la cantidad y calidad del agua disponible para poder satisfacer las necesidades de consumo humano, o los requerimientos como materia prima para desarrollar las diversas actividades productivas que día a día realizan.

A nivel de la naturaleza, las coberturas vegetales son muy importantes por los diferentes servicios ambientales que generan, entre ellos la regulación del agua lluvia porque el suministro permanente de este SAH es fundamental para mantener o incluso mejorar la provisión



que requiere, por ejemplo, cualquier productor agropecuario; así como otros actores sociales que desarrollen actividades económicas donde es necesaria el agua. Con la deforestación, se disminuye para el hombre la posibilidad de disfrutar este beneficio indirecto que provee las plantas, dado que la conversión de sus coberturas hacia otros usos del suelo contribuye a que se reduzca la oferta de este recurso natural, lo cual puede causar, entre otros efectos negativos, pérdidas en productividad de bienes agrícolas y pecuarios.

La pérdida del bosque que regula el agua, y que genera otras funciones ecosistémicas casi siempre lo explica el siguiente contexto: el *homo economicus* considera que dicho recurso natural existe simplemente y que no le suministra ningún beneficio al hombre fuera de la madera. En estas circunstancias ¿para qué valorar los servicios que presta este ecosistema?, la respuesta más clara es que si bien ya se sabe en algunos escenarios institucionales la importancia real del bosque, esto tal vez sea insuficiente para garantizar su conservación y uso sostenible a escala local; razón por lo cual, el apoyarse en herramientas como las que proporciona la valoración económica es una opción viable para ayudar a que se conozca, entre quienes tienen la tenencia de la tierra donde se encuentran los bosques naturales, otros beneficios proporcionados por estos ecosistemas que coadyuvan a evitar la disminución de ingresos, siendo esto último otro elemento de juicio con el cual se espera que la toma de decisiones con respecto a conservar o deforestar sea mucho más objetiva.

El anterior planteamiento permite establecer que la valoración económica le apunta a que los recursos escasos se asignen de la mejor forma y que se haga un uso eficiente de estos, dado que su objetivo es contribuir a encontrar un nivel óptimo de bienestar social a través de mediciones puramente antropocéntricas, esto quiere decir, que no consideran el valor intrínseco del servicio ecosistémico analizado en razón a que es incalculable (puede llegar a ser infinito), y cualquier dato estimado carecería de una interpretación adecuada sobre el mismo o sobre el ecosistema natural que lo genera.

Finalmente, vale la pena resaltar que este artículo tiene como propósito aportar información que ayude a planificar e impulsar estrategias de gestión institucional

orientadas a mitigar y manejar el efecto negativo que tiene la deforestación del bosque natural y la pérdida total o parcial del servicio de regulación del agua lluvia, en la producción agropecuaria así como en el nivel de ingresos monetarios generados por la actividad agrícola y ganadera en el departamento del Guaviare.

Métodos

Identificación, selección y transformación de la información

Para realizar este ejercicio de valoración económica, en la base de datos establecida para la encuesta predial realizada por el Instituto SINCHI (2015), se identificó, seleccionó y transformó información de las tipologías correspondientes a los nueve sistemas productivos que forman el estrato de tierra firme con intervención alta, media y baja (Daza *et al.*, 2017). Lo anterior, dado que las estimaciones del servicio de regulación del agua lluvia efectuadas por Pinzón *et al.* (2017) se hicieron para el bosque alto denso situado en este estrato y no pueden extrapolarse a los estratos de sabana y vega.

Bajo esta condición, el marco muestral elegido lo conforman nueve (9) tipologías específicas de sistemas productivos que están clasificados de acuerdo con los siguientes estratos:

a. Tierra firme intervención alta

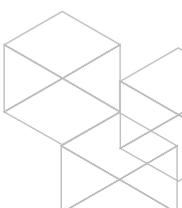
- Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF
- Ganadero avícola familiar – GaAvF
- Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF

b. Tierra firme intervención media

- Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF
- Agropecuario con venta de mano de obra familiar – AgpVmoF
- Ganadero con explotación de madera y venta de mano de obra familiar – GaMadVmoF
- Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF

c. Tierra firme intervención baja

- Agrícola con venta de mano de obra familiar –



AgVmoF

- Ganadero con venta de mano de obra familia – GaVmoF

Estimación del efecto que sufre el servicio de regulación del agua lluvia a partir de la variación del área cubierta en bosque

Los bosques son un importante regulador del agua lluvia, y cualquier cambio (sea positivo o negativo) en su área siempre va a tener efectos directos sobre la provisión de este servicio ecosistémico. Esto puede plantearse, desde una perspectiva matemática, como una igualdad donde la regulación hídrica está en función del área cubierta en bosque. Dado que es una relación directa, siempre el comportamiento mostrado por la variable independiente determinará que la dependiente presente similar tendencia, en otras palabras, si aumenta la superficie con cobertura boscosa también crece la oferta natural del servicio ambiental, y viceversa. En el marco de la valoración económica, dichas inferencias permitieron construir el modelo econométrico que sirve para estimar una aproximación del cambio negativo que puede sufrir la función reguladora del agua lluvia, a partir de la deforestación del bosque alto denso de tierra firme en el departamento del Guaviare. Este modelo es el siguiente:

$$rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$$

Dónde: rh = regulación hídrica (del agua lluvia)
abq = área en bosque
 μ = error estadístico

Estimación del efecto que sufre el ingreso agrícola y ganadero a partir de la variación del servicio de regulación del agua lluvia

Por la necesidad que tiene la producción agropecuaria del recurso agua, se puede establecer una relación directa entre el servicio ambiental de regulación hídrica y los ingresos que son generados por el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas. En términos matemáticos, dicha relación es viable plantearla como una igualdad donde el ingreso está en función del servicio de regulación hídrica. En el contexto de la valoración económica, estas inferencias permitieron especificar el modelo que contribuyó a establecer una aproximación del cambio negativo que puede experimentar el ingreso agrícola

y ganadero, debido al deterioro o la pérdida total de la función reguladora del agua lluvia que genera el bosque alto denso de tierra firme localizado en el departamento del Guaviare. Este modelo es el siguiente:

$$ing = \beta_0 + \beta_1 rh + \mu$$

Dónde: ing = ingreso
rh = regulación hídrica (del agua lluvia)
 μ = error estadístico

Estimación del efecto que sufre el ingreso agrícola y ganadero a partir de la variación del área en bosque

Existe una clara relación directa entre el área en bosque alto denso de tierra firme y la prestación del servicio de regulación del agua lluvia, así como de este servicio ecosistémico con el ingreso monetario que se genera a partir del desarrollo de actividades agropecuarias (SINCHI, 2016). Enlazar estas dos relaciones, permitirá finalmente estimar una aproximación del cambio que puede experimentar la variable ingreso si sufre alguna variación la superficie cubierta de bosque. Desde una óptica matemática, es viable entrelazar esas dos relaciones funcionales señaladas utilizando el concepto microeconómico llamado elasticidad cruzada, esto en razón a que permite asociar el ingreso y el área en bosque al simplificar desde una perspectiva algebraica la variable regulación hídrica, la cual aquí se emplea como conector relacional por la interacción causal que existe entre dicho servicio ambiental con cada una de estas variables (SINCHI, 2016). La elasticidad cruzada que se planteó es la siguiente:

$$\frac{\Delta \% ing}{\Delta \% abq} = \frac{\Delta \% ing}{\Delta \% rh} \times \frac{\Delta \% rh}{\Delta \% abq}$$

Dónde: ing = ingreso
rh = regulación hídrica (del agua lluvia)
abq = área en bosque

A partir de los resultados logrados al desarrollar el concepto de elasticidad cruzada, se pudo determinar que la deforestación del bosque alto denso de tierra firme puede ocasionar la pérdida aproximada del 21,0 % de los ingresos ganaderos en un escenario de 20 años, y del 10,7 % de los ingresos agrícolas durante el mismo lapso

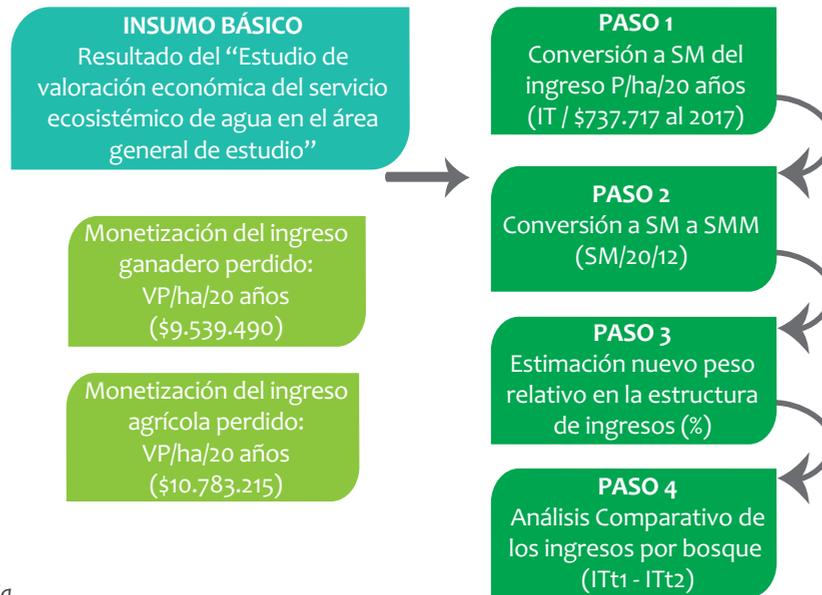


si esta cobertura natural se convierte a otro uso. Estos dos valores calculados son el insumo básico para adelantar el procedimiento metodológico establecido en la figura 1, y cuyo objetivo final es determinar la magnitud del cambio negativo (Δ -) que la deforestación de los relictos de bosque y la vegetación secundaria causa en las respectivas estructuras de ingresos.

Modelamiento financiero

Para dar alcance a este último planteamiento, se desarrolló un procedimiento técnico cuyo paso a paso se ilustra en la figura 1.

Figura 1. Procedimiento para establecer y comparar cambios en el ingreso a partir de la valoración estimada por la pérdida del bosque



Fuente: Elaboración propia

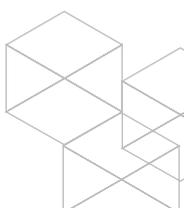
El objetivo final de su aplicación es establecer una estructura de ingresos en un escenario no ideal (t_1) para así poder contrastarla con su equivalente en el escenario actual (t_0); aunque de antemano se sabe que se va a presentar un cambio (∇) negativo por los recursos monetarios que pueden dejar de recibirse, como ya se señaló, el plus está en obtener una medida de esa variación porque este puede ser un argumento válido para mostrar, a quienes poseen la tierra, otros importantes valores económicos de los relictos de bosque alto denso de tierra firme situados dentro del área de estudio, y que se originan a partir de beneficios intangibles como los que se generan con la regulación del agua lluvia (se materializa en la fase productiva, cuando entra al proceso como un insumo básico e insustituible).

Con base en la aplicación del procedimiento presentado en la figura 1, a los nueve sistemas productivos que constituyen el marcomuestral de este ejercicio de modelación financiera por que se encuentran tipificados en el estrato de tierra firme con intervención alta, media y baja, se obtuvieron los siguientes resultados con respecto a la variación en la estructura de ingresos.

Resultados

Estrato de tierra firme intervención alta

En el marco de este estrato y nivel de intervención fueron considerados para el análisis los siguientes sistemas productivos: Agrícola con venta de mano de obra familiar, ganadero avícola familiar, y ganadero con venta de mano de obra familiar.



Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 28,83 hectáreas, lo cual equivale al 55,63 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0,03 SMM (\$ 22.131,5), es decir el 0,35 % de los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la probabilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los escasos recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación ocasionada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una disminución no solo del ingreso ganadero al pasar de 0,82 SMM (\$ 604.927,9) a 0,65 SMM (\$ 479.516,1), sino también del ingreso agrícola porque este flujo monetario cambiaría de 1,52 SMM (\$ 1.121.329,8) a 1,36 SMM (\$ 1.003.295,1), situaciones que registran una caída relativa del 21,0 % y 10,7 % respectivamente en el marco del escenario denominado *no ideal* (tabla 1).

Tabla 1. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario no ideal

| TIPOLOGÍA | | Agrícola con Venta de mano de obra Familiar AgVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|-------|-----------------|-------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| USOS DEL SUELO | | Has. | % | Has. | % |
| | Cultivos | 0,78 | 1,50 | | |
| | Pastos | 15,89 | 30,65 | | |
| | Rastrojo | 6,33 | 12,22 | | |
| | Bosque | 28,83 | 55,63 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| Total | 51,83 | 100,00 | | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 0,82 | 8,98 | 0,65 | 7,40 |
| | Agrícola | 1,52 | 16,63 | 1,36 | 15,49 |
| | Bosques | 0,03 | 0,35 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 0,52 | 5,68 | 0,52 | 5,92 |
| | Venta de mano de obra | 6,25 | 68,36 | 6,25 | 71,18 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 9,15 | 100,00 | 8,78 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 20.684 a \$0.0), la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en ambos escenarios cotejados la venta de fuerza laboral (68,4 %), la producción agrícola (16,6 %) y la ganadería (9,0 %). No obstante esto, lo esencial es poder establecer la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esa disminución financiera puede ayudar a la conservación del bosque por la posible pérdida adquisitiva que sufriría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (28,83 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la cantidad de \$ 14.775.752 para el caso de ganadería (tabla 2), y \$ 13.906.591 con respecto a la agricultura (tabla 3).



Tabla 2. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.393.466 | 1.290.246 | 1.194.672 | 1.106.178 | 1.024.239 | 948.369 | 878.120 | 813.074 | 752.846 | 697.080 | 645.444 |
| VP 20 años | 14.775.752 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma | |
| 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 1.504.943 | 0,08 | 30.098.860 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 597.634 | 553.364 | 512.374 | 474.421 | 439.279 | 406.739 | 376.611 | 348.713 | 322.883 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

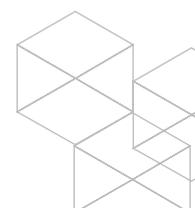
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.311.497 | 1.214.349 | 1.124.397 | 1.041.109 | 963.990 | 892.583 | 826.466 | 765.246 | 708.561 | 656.075 | 607.477 |
| VP 20 años | 13.906.591 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma | |
| 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 0,08 | 28.328.340 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 562.479 | 520.814 | 482.235 | 446.514 | 413.439 | 382.814 | 354.457 | 328.201 | 303.890 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 2 y 3 permiten conocer el flujo de caja calculado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no percibiría \$ 28.682.343 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 28,83 hectáreas cubiertas de BADTF.

Ganadero avícola familiar – GaAvF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 5,25 hectáreas, lo cual equivale al 17,76 % de la superficie predial total. A pesar de esto, dicho ecosistema natural no aporta al ingreso familiar entradas monetarias (0,0 SMM), es decir no participa de los recursos que perciben cada mes como producto de vender fuerza de trabajo y efectuar otras actividades productivas. Ante la posibilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la



tenencia de la tierra (fincas) pueden sufrir, por la afectación ocasionada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia, una reducción no solo del ingreso ganadero al pasar de 8,46 SMM (\$ 6.241.086) a 6,68 SMM (\$ 4.927.950), sino también del ingreso agrícola porque este flujo monetario variaría de 3,84 SMM (\$ 2.832.833) a 3,43 SMM (\$ 2.530.369), situaciones que registran en el contexto del escenario denominado no ideal una caída relativa del 21 % y 10,7 % respectivamente (tabla 4).

Tabla 4. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | Ganadero Avícola Familiar GaAvF | | | |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------|-----------------|--------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| | | Has. | % | Has. | % |
| USOS DEL SUELO | Cultivos | 1,94 | 6,55 | | |
| | Pastos | 21,31 | 72,09 | | |
| | Rastrojo | 1,06 | 3,59 | | |
| | Bosque | 5,25 | 17,76 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| | Total | 29,56 | 100,00 | | |
| | | SMM | % | SMM | % |
| INGRESOS | Ganadería | 8,46 | 51,50 | 6,68 | 46,91 |
| | Agrícola | 3,84 | 23,39 | 3,43 | 24,09 |
| | Bosques | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 2,21 | 13,42 | 2,21 | 15,52 |
| | Venta de mano de obra | 1,92 | 11,69 | 1,92 | 13,48 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Total | 16,43 | 100,00 | 14,24 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Como ocurre en el estado actual, para el escenario no ideal los recursos correspondientes al rubro bosque tampoco existen (\$ 0,00). De igual manera, la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas conservan su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en ambos escenarios comparados la ganadería (51,5 %), la producción agrícola (23,4 %), las especies menores (13,4 %), y la venta de fuerza laboral (11,7 %). Pese a esto, lo importante es poder determinar la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadería, agricultura) desde la perspectiva económica, porque esta reducción financiera puede contribuir a conservar el bosque alto denso de tierra firme por la potencial pérdida adquisitiva que sufriría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (5,25 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la cuantía de \$ 154.710.783 para el caso de ganadería (tabla 5), y \$ 35.635.634 con respecto a la agricultura (tabla 6).



Tabla 5. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 14.590.403 | 13.509.632 | 12.508.919 | 11.582.332 | 10.724.382 | 9.929.983 | 9.194.429 | 8.513.360 | 7.882.741 | 7.298.834 | 6.758.180 |
| VP 20 años | 154.710.783 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma | |
| 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 15.757.635 | 0,08 | 315.152.700 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 6.257.574 | 5.794.050 | 5.364.861 | 4.967.464 | 4.599.503 | 4.258.799 | 3.943.333 | 3.651.234 | 3.380.772 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque.

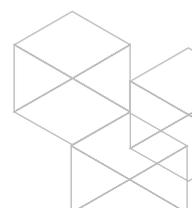
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 3.360.711 | 3.111.770 | 2.881.268 | 2.667.841 | 2.470.223 | 2.287.244 | 2.117.818 | 1.960.943 | 1.815.688 | 1.681.192 | 1.556.660 |
| VP 20 años | 35.635.634 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma | |
| 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 3.629.568 | 0,08 | 72.591.360 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 1.441.351 | 1.334.585 | 1.235.727 | 1.144.191 | 1.059.436 | 980.960 | 908.296 | 841.015 | 778.717 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 5 y 6 permiten conocer el flujo de caja calculado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 190.346.417 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 5,25 hectáreas cubiertas de BADTF.

Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmof

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 30,25 hectáreas, lo cual equivale al 29,88 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0,73 SMM (\$ 538.533), es decir el 2,17 % de



los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la probabilidad de que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación causada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una reducción no solo del ingreso ganadero al cambiar de 23,02 SMM (\$ 16.982.245) a 18,19 SMM (\$ 13.419.072), sino también del ingreso agrícola porque dicha entrada o flujo monetario fluctuaría de 0,46 SMM (\$ 339.350) a 0,41 SMM (\$ 302.464), situaciones que registran en el marco del escenario llamado no ideal un caída relativa del 21 % y 10.7 % respectivamente (tabla 7).

Tabla 7. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario no ideal

| Tipología | | Ganadero con Venta de mano de obra Familiar GaVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|--------|-----------------|--------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| | | Has. | % | Has. | % |
| USOS DEL SUELO | Cultivos | 0,50 | 0,49 | | |
| | Pastos | 50,83 | 50,21 | | |
| | Rastrojo | 19,67 | 19,42 | | |
| | Bosque | 30,25 | 29,88 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| | Total | 101,25 | 100,00 | | |
| | | SMM | % | SMM | % |
| INGRESOS | Ganadería | 23,02 | 68,77 | 18,19 | 65,27 |
| | Agrícola | 0,46 | 1,37 | 0,41 | 1,47 |
| | Bosques | 0,73 | 2,17 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 2,31 | 6,90 | 2,31 | 8,29 |
| | Venta de mano de obra | 6,96 | 20,80 | 6,96 | 24,97 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Total | 33,48 | 100,00 | 27,87 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 538.533 a \$0,0), la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son comparados la ganadería (68,77 %), venta de fuerza laboral (20,80 %), y las especies menores (6,90 %). Pese a esto, lo esencial es poder establecer la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esa disminución financiera puede ayudar a la conservación del bosque por la posible pérdida adquisitiva que sufriría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (30,25 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la cantidad de \$ 419.805.103 para el caso de ganadería (tabla 8), y \$ 4.345.807 con respecto a la agricultura (tabla 9).



Tabla 8. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 39.590.812 | 36.658.159 | 33.942.740 | 31.428.463 | 29.100.429 | 26.944.841 | 24.948.927 | 23.100.859 | 21.389.684 | 19.805.263 | 18.338.206 |
| VP 20 años | 419.805.103 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma | |
| 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 42.758.077 | 0,08 | 855.161.540 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 16.979.821 | 15.722.056 | 14.557.459 | 13.479.129 | 12.480.675 | 11.556.181 | 10.700.167 | 9.907.562 | 9.173.669 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

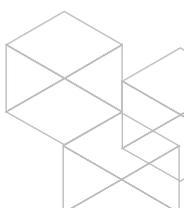
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|------------------|---------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 409.843 | 379.484 | 351.374 | 325.346 | 301.247 | 278.932 | 258.270 | 239.139 | 221.425 | 205.023 | 189.836 |
| VP 20 años | 4.345.807 | | | | | | | | | | |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma | |
| 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 442.630 | 0,08 | 8.852.600 | |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | | |
| 175.774 | 162.754 | 150.698 | 139.535 | 129.199 | 119.629 | 110.768 | 102.563 | 94.965 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 8 y 9 permiten conocer el flujo de caja calculado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 424.150.910 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 30,25 hectáreas cubiertas de BADTF.

Estrato de tierra firme intervención baja

En el contexto de este estrato y nivel de intervención fueron considerados para el análisis los sistemas productivos que se relacionan a continuación: agrícola con venta de mano de obra familiar y ganadero con venta de mano de obra familiar.



Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 36,73 hectáreas, lo cual equivale al 58,75 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0.31 SMM (\$ 228.692), es decir el 1,64 % de los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la posibilidad de que el área en bosque se deforeste toda, los que poseen la tenencia de la tierra pueden perder los recursos que les suministra este ecosistema natural, así como sufrir por el daño causado al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una disminución no solo del ingreso ganadero al bajar de 1,13 SMM (\$ 833.620) a 0,90 SMM (\$ 663.945), sino también del ingreso agrícola porque esta entrada monetaria cambiaría de 11,22 SMM (\$ 8.277.185) a 10,02 SMM (\$ 7.391.924), situaciones que registran un caída en el escenario denominado no ideal del 21 % y 10.7 % respectivamente (tabla 10).

Tabla 10. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario no ideal

| Tipología | | Agrícola con Venta de mano de obra Familiar AgVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|-------|-----------------|-------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| USOS DEL SUELO | | Has. | % | Has. | % |
| | Cultivos | 1,87 | 4,15 | | |
| | Pastos | 8,64 | 12,24 | | |
| | Rastrojo | 12,55 | 21,76 | | |
| | Bosque | 36,73 | 58,75 | 0,00 | |
| | Otras | 2,32 | 3,09 | | |
| Total | 62,11 | 100,00 | | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 1,13 | 6,09 | 0,90 | 5,33 |
| | Agrícola | 11,22 | 60,26 | 10,02 | 59,40 |
| | Bosques | 0,31 | 1,64 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 1,25 | 6,74 | 1,25 | 7,41 |
| | Venta de mano de obra | 4,70 | 25,27 | 4,70 | 27,86 |
| Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Total | 18,61 | 100,00 | 16,87 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 228.692 a \$0,0), la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son comparados la producción agrícola (60,26 %), la venta de fuerza laboral (25,27 %), y las especies menores (6,74 %). Pese a esto, lo importante es lograr determinar la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esta disminución financiera puede contribuir a conservar el bosque por la posible pérdida adquisitiva que soportaría el núcleo familiar, lo cual a su vez repercute sobre el nivel de bienestar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (36,73 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 19.990.720 para el caso de ganadería (tabla 11), y \$ 104.299.407 con respecto a la agricultura (tabla 12).



Tabla 11. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.885.277 | 1.745.627 | 1.616.321 | 1.496.594 | 1.385.735 | 1.283.088 | 1.188.044 | 1.100.041 | 1.018.556 | 943.108 | 873.248 |
| VP 20 años | 19.990.720 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 0,08 | 40.721.980 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 808.563 | 748.669 | 693.212 | 641.863 | 594.318 | 550.294 | 509.532 | 471.789 | 436.841 | | |
| | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 9.836.227 | 9.107.617 | 8.432.979 | 7.808.314 | 7.229.920 | 6.694.371 | 6.198.491 | 5.739.344 | 5.314.207 | 4.920.562 | 4.556.076 |
| VP 20 años | 104.299.407 | | | | | | | | | | |

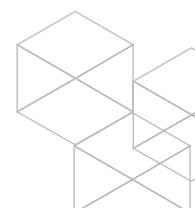
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|--------------------|
| 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 10.623.125 | 0,08 | 212.462.500 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 4.218.589 | 3.906.101 | 3.616.760 | 3.348.852 | 3.100.789 | 2.871.101 | 2.658.427 | 2.461.506 | 2.279.172 | | |
| | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 11 y 12, permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 124.290.127 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 36,73 hectáreas cubiertas de BADTF.

Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 36,93 hectáreas, lo cual equivale al 47,53 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0,21 SMM (\$ 154.921), es decir el 1,44 % de



los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la probabilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación causada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una reducción no solo del ingreso ganadero al pasar de 4,99 SMM (\$ 3.681.208) a 3,94 SMM (\$ 2.906.605), sino también del ingreso agrícola porque esta entrada monetaria variaría de 1,45 SMM (\$ 1.069.690) a 1,29 SMM (\$ 951.655), situaciones que en el contexto del escenario llamado no ideal presentan un caída relativa del 21 % y 10,7 % respectivamente (tabla 13).

Tabla 13. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | Ganadero con Venta de mano de obra Familiar GaVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|---------------|-----------------|-------------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| | | Has. | % | Has. | % |
| USOS DEL SUELO | Cultivos | 0,56 | 0,99 | | |
| | Pastos | 25,00 | 33,40 | | |
| | Rastrojo | 12,45 | 18,08 | | |
| | Bosque | 36,93 | 47,53 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| | Total | 74,95 | 100,00 | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 4,99 | 34,35 | 3,94 | 30,08 |
| | Agrícola | 1,45 | 10,01 | 1,29 | 9,85 |
| | Bosques | 0,21 | 1,44 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 0,83 | 5,69 | 0,83 | 6,34 |
| | Venta de mano de obra | 7,03 | 48,45 | 7,03 | 53,66 |
| | Otros | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 0,08 |
| Total | 14,52 | 100,00 | 13,10 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 154.921 a \$ 0,0), la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son cotejados: la venta de fuerza laboral (48,45 %), la ganadería (34,35 %), y la producción agrícola (10,01 %). Pese a esto, lo esencial es poder determinar la magnitud del efecto decremental que puede soportar el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esta reducción financiera puede coadyuvar a conservar el bosque por la posible pérdida adquisitiva que soportaría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (36,93 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 91.261.978 para el caso de ganadería (tabla 14), y \$ 13.906.591 con respecto a la agricultura (tabla 15).



Tabla 14. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 8.606.698 | 7.969.165 | 7.378.856 | 6.832.274 | 6.326.180 | 5.857.574 | 5.423.680 | 5.021.926 | 4.649.931 | 4.305.492 | 3.986.567 |
| VP 20 años | 91.261.978 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|--------------------|
| 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 9.295.234 | 0,08 | 185.904.680 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 3.691.265 | 3.417.838 | 3.164.665 | 2.930.245 | 2.713.190 | 2.512.213 | 2.326.123 | 2.153.818 | 1.994.276 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.311.497 | 1.214.349 | 1.124.397 | 1.041.109 | 963.990 | 892.583 | 826.466 | 765.246 | 708.561 | 656.075 | 607.477 |
| VP 20 años | 13.906.591 | | | | | | | | | | |

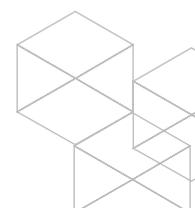
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 0,08 | 28.328.340 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 562.479 | 520.814 | 482.235 | 446.514 | 413.439 | 382.814 | 354.457 | 328.201 | 303.890 | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 14 y 15 permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 105.168.569 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 36,93 hectáreas cubiertas de BADTF.

Estrato de tierra firme intervención media

En el contexto de este estrato y nivel de intervención fueron considerados para el análisis los sistemas productivos señalados a continuación: Ganadero con venta de mano de obra familiar, agropecuario con venta de mano de obra familiar, ganadero con explotación de madera y venta de mano de obra familiar y agrícola con venta de mano de obra familiar.



Ganadero con venta de mano de obra familia – GaVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 23,15 hectáreas, lo cual equivale al 38,62 % de la superficie predial total. A pesar de esto, dicho ecosistema natural no aporta al ingreso familiar entradas monetarias (0,0 SMM), es decir no participa de los recursos que perciben cada mes como producto de vender fuerza de trabajo y efectuar otras actividades productivas. Ante la posibilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (fincas) pueden sufrir, por la afectación ocasionada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia, una reducción no solo del ingreso ganadero al pasar de 8,56 SMM (\$ 6.314.858) a 6,76 SMM (\$ 4.986.967), sino también del ingreso agrícola porque este flujo monetario variaría de 2,14 SMM (\$ 1.578.714) a 1,91 SMM (\$1.409.039), situaciones que registran en el contexto del escenario denominado “No ideal” una caída relativa del 21 % y 10,7 % respectivamente (tabla 16).

Tabla 16. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | Ganadero con Venta de mano de obra Familiar GaVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|-------|-----------------|-------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| USOS DEL SUELO | | Has. | % | Has. | % |
| | Cultivos | 1,10 | 4,14 | | |
| | Pastos | 31,88 | 42,46 | | |
| | Rastrojo | 8,01 | 14,54 | | |
| | Bosque | 23,15 | 38,62 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| Total | 64,15 | 99,75 | | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 8,56 | 39,94 | 6,76 | 34,83 |
| | Agrícola | 2,14 | 9,99 | 1,91 | 9,84 |
| | Bosques | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 2,03 | 9,46 | 2,03 | 10,46 |
| | Venta de mano de obra | 8,71 | 40,62 | 8,71 | 44,87 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 21,43 | 100,00 | 19,41 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Como ocurre en el estado actual, para el escenario no ideal los recursos correspondientes al rubro bosque tampoco existen (\$ 0,0). De igual manera, la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas conservan su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en ambos escenarios comparados la venta de fuerza laboral (40,6 %) la ganadería (39,9 %), la producción agrícola (9,99 %), y las especies menores (9,46 %). Pese a esto, lo importante es poder determinar la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadería, agricultura) desde la perspectiva económica, porque esta reducción financiera puede contribuir a conservar el bosque alto denso de tierra firme por la potencial pérdida adquisitiva que sufriría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (23,15 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 156.449.106 para el caso de ganadería (tabla 17), y \$ 19.990.720 con respecto a la agricultura (tabla 18).



Tabla 17. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 14.754.340 | 13.661.426 | 12.649.468 | 11.712.471 | 10.844.880 | 10.041.556 | 9.297.737 | 8.609.016 | 7.971.311 | 7.380.843 | 6.834.114 |
| VP 20 años | 156.449.106 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|--------------------|
| 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 15.934.687 | 0,08 | 318.693.740 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 6.327.883 | 5.859.151 | 5.425.140 | 5.023.278 | 4.651.183 | 4.306.651 | 3.987.640 | 3.692.259 | 3.418.759 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 |
| Factor de descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.885.277 | 1.745.627 | 1.616.321 | 1.496.594 | 1.385.735 | 1.283.088 | 1.188.044 | 1.100.041 | 1.018.556 | 943.108 | 873.248 |
| VP 20 años | 19.990.720 | | | | | | | | | | |

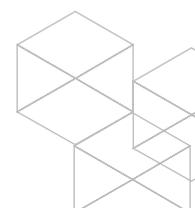
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa de descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 2.036.099 | 0,08 | 40.721.980 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 808.563 | 748.669 | 693.212 | 641.863 | 594.318 | 550.294 | 509.532 | 471.789 | 436.841 | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 17 y 18 permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 176.439.826 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 23,15 hectáreas cubiertas de BADTF.

Agropecuario con venta de mano de obra familiar – AgVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 34,67 hectáreas, lo cual equivale al 24,75 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0,53 SMM (\$ 390.990), es decir el 2,79 %



de los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la probabilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación causada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una reducción no solo del ingreso ganadero al pasar de 7,75 SMM (\$ 5.717.307) a 6,12 SMM (\$ 4.514.828), sino también del ingreso agrícola porque esta entrada monetaria cambiaría de 4,40 SMM (\$ 3.245.955) a 3,93 SMM (\$ 2.899.228), situaciones que en el marco del escenario llamado no ideal presentan una caída relativa del 21% y 10,7% respectivamente (tabla 19).

Tabla 19. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | Agropecuario con Venta de mano de obra Familiar AgpVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------|-----------------|-------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| USOS DEL SUELO | | Has. | % | Has. | % |
| | Cultivos | 2,97 | 6,55 | | |
| | Pastos | 36,51 | 38,65 | | |
| | Rastrojo | 17,01 | 28,70 | | |
| | Bosque | 34,67 | 24,75 | 0,00 | |
| | Otras | 0,88 | 1,08 | | |
| | Total | 92,05 | 99,73 | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 7,75 | 40,58 | 6,12 | 37,16 |
| | Agrícola | 4,40 | 23,02 | 3,93 | 23,86 |
| | Bosques | 0,53 | 2,79 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 2,19 | 11,48 | 2,19 | 13,30 |
| | Venta de mano de obra | 4,23 | 22,13 | 4,23 | 25,68 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 19,09 | 100,00 | 16,47 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 390.990 a \$ 0,0), la estructura de ingresos en términos ordinales sigue igual porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son comparados la ganadería (40,58%), la producción agrícola (23,02%), la venta de fuerza laboral (22,13%), y las especies menores (11,48%). Pese a esto, lo esencial es poder determinar la magnitud del efecto decremental que puede sufrir el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esta reducción financiera puede contribuir a conservar el bosque por la posible pérdida adquisitiva que soportaría el núcleo familiar (↓ bienestar).

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (34,67 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 141.673.363 para el caso de ganadería (tabla 20), y \$ 40.850.602 con respecto a la agricultura (tabla 21).



Tabla 20. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 13.360.875 | 12.371.181 | 11.454.797 | 10.606.293 | 9.820.642 | 9.093.187 | 8.419.618 | 7.795.942 | 7.218.465 | 6.683.764 | 6.188.670 |
| VP 20 años | 141.673.363 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|--------------------|
| 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 14.429.745 | 0,08 | 288.594.900 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 5.730.250 | 5.305.787 | 4.912.766 | 4.548.857 | 4.211.905 | 3.899.912 | 3.611.030 | 3.343.546 | 3.095.876 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 3.852.522 | 3.567.150 | 3.302.917 | 3.058.256 | 2.831.719 | 2.621.962 | 2.427.742 | 2.247.910 | 2.081.398 | 1.927.220 | 1.784.463 |
| VP 20 años | 40.850.602 | | | | | | | | | | |

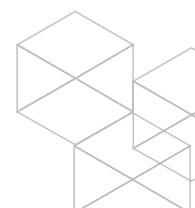
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 4.160.724 | 0,08 | 83.214.480 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 1.652.281 | 1.529.890 | 1.416.564 | 1.311.634 | 1.214.476 | 1.124.515 | 1.041.217 | 964.090 | 892.676 | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 20 y 21 permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibirá \$ 182.523.965 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 34,67 hectáreas cubiertas de BADTF.

Ganadero con explotación maderera y venta de mano de obra familiar – GaMadVmoF.

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 31,50 hectáreas, lo cual equivale al 40,73 % de la superficie predial total. Este ecosistema natural le aporta al ingreso familiar 6,00 SMM (\$ 4.426.302), es decir el 31,90 % de los



recursos que perciben al mes como producto de vender además fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la posibilidad que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación causada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una reducción no solo del ingreso ganadero al pasar de 6,34 SMM (\$ 4.677.126) a 5,01 SMM (\$ 3.695.962), sino también del ingreso agrícola porque esta entrada monetaria cambiaría de 2,77 SMM (\$ 2.043.476) a 2,47 SMM (\$ 1.822.161), situaciones que en el marco del escenario llamado no ideal presentan un caída relativa del 21 % y 10,7 % respectivamente (tabla 22).

Tabla 22. Estructura de ingresos. Escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | "Ganadero con Explotación de Maderas y Venta de mano de obra Familiar GaMadVmoF" | | | |
|----------------|-----------------------|--|--------|-----------------|--------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| | | Has. | % | Has. | % |
| USOS DEL SUELO | Cultivos | 1,00 | 1,08 | | |
| | Pastos | 32,33 | 32,76 | | |
| | Rastrojo | 23,67 | 25,43 | | |
| | Bosque | 31,50 | 40,73 | 0,00 | |
| | Otras | 0,00 | 0,00 | | |
| | Total | 88,50 | 100,00 | | |
| | | SMM | % | SMM | % |
| INGRESOS | Ganadería | 6,34 | 33,75 | 5,01 | 44,85 |
| | Agrícola | 2,77 | 14,72 | 2,47 | 22,11 |
| | Bosques | 6,00 | 31,90 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 0,69 | 3,69 | 0,69 | 6,18 |
| | Venta de mano de obra | 3,00 | 15,94 | 3,00 | 26,86 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Total | 18,80 | 100,00 | 11,17 | 100,00 |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 4.426.302 a \$ 0.0), la estructura de ingresos sigue igual en términos ordinales porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son comparados la ganadería (33,75 %), la venta de fuerza laboral (15,94 %), y la producción agrícola (14,72 %). Pese a esto, lo esencial es poder establecer la magnitud del efecto decremental que experimentaría el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esta reducción financiera puede coadyuvar a conservar el bosque por la posible pérdida adquisitiva que soportaría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (31,50 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 115.598.504 para el caso de ganadería (tabla 23), y \$ 26.074.849 con respecto a la agricultura (tabla 24).



Tabla 23. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 10.901.818 | 10.094.276 | 9.346.551 | 8.654.214 | 8.013.161 | 7.419.594 | 6.869.994 | 6.361.106 | 5.889.913 | 5.453.623 | 5.049.651 |
| VP 20 años | 115.598.504 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|--------------------|
| 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 11.773.963 | 0,08 | 235.479.260 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 4.675.603 | 4.329.262 | 4.008.576 | 3.711.644 | 3.436.708 | 3.182.137 | 2.946.423 | 2.728.169 | 2.526.083 | | |

Fuente: Elaboración propia

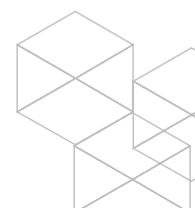
Tabla 24. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 2.459.056 | 2.276.904 | 2.108.245 | 1.952.078 | 1.807.480 | 1.673.593 | 1.549.623 | 1.434.836 | 1.328.552 | 1.230.140 | 1.139.019 |
| VP 20 años | 26.074.849 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 2.655.781 | 0,08 | 53.115.620 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 1.054.647 | 976.525 | 904.190 | 837.213 | 775.197 | 717.775 | 664.607 | 615.376 | 569.793 | | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 23 y 24, permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$141.673.353 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 31.50 hectáreas, las cuales que se encuentran cubiertas de bosque alto denso de tierra firme – BADTF dentro del área que estableció el Instituto SINCHI como sitio de estudio (departamento del Guaviare).



Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF

En este sistema productivo el área promedio en bosque es 45,39 hectáreas, lo cual equivale al 73,29 % de la superficie predial total. Pese a esto, dicho ecosistema solo aporta al ingreso familiar 0,39 SMM (\$ 287.710), es decir el 3,66 % de los recursos que perciben al mes como producto de vender fuerza de trabajo y realizar otras actividades productivas. Ante la probabilidad de que dicha área en bosque se deforeste totalmente, los que tienen la tenencia de la tierra (finca) pueden perder los escasos recursos que les proporciona este ecosistema natural, así como sufrir por la afectación ocasionada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia una disminución no solo del ingreso ganadero al pasar de 0,77 SMM (\$ 568.042,1) a 0,61 SMM (\$ 450.007,4), sino también del ingreso agrícola porque este flujo monetario cambiaría de 3,74 SMM (\$ 2.759.061,6) a 3,34 SMM (\$ 2.463.974,8), situaciones que registran una caída relativa del 21 % y 10.7 % respectivamente en el marco del escenario denominado no ideal, y que corresponden a los resultados obtenidos con el ejercicio de valoración económica del servicio agua (tabla 25).

Tabla 25. Estructura de ingresos escenario actual vs escenario ideal

| Tipología | | Agrícola con Venta de mano de obra Familiar AgVmoF | | | |
|----------------|-----------------------|--|--------|-----------------|-------|
| | | Estado Actual | | Estado No Ideal | |
| | | Has. | % | Has. | % |
| USOS DEL SUELO | Cultivos | 1,29 | 2,08 | | |
| | Pastos | 7,70 | 12,44 | | |
| | Rastrojo | 7,49 | 12,10 | | |
| | Bosque | 45,39 | 73,29 | 0,00 | |
| | Otras | 0,06 | 0,09 | | |
| | Total | 61,93 | 100,00 | | |
| INGRESOS | | SMM | % | SMM | % |
| | Ganadería | 0,77 | 7,15 | 0,61 | 6,24 |
| | Agrícola | 3,74 | 34,88 | 3,34 | 34,15 |
| | Bosques | 0,39 | 3,66 | 0,00 | 0,00 |
| | Especies Menores | 0,72 | 6,68 | 0,72 | 7,36 |
| | Venta de mano de obra | 5,11 | 47,63 | 5,11 | 52,25 |
| | Otros | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 10,73 | 100,00 | 9,78 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Aunque en el escenario no ideal los recursos del rubro bosque desaparecen por la posible deforestación (pasa de \$ 287.710 a \$ 0,0), la estructura de ingresos sigue igual en términos ordinales porque las entradas monetarias de cada una de las otras actividades desarrolladas mantienen su mismo puesto, siendo a su vez las más importantes en los dos escenarios que son comparados la venta de fuerza laboral (47,63 %), la producción agrícola (34,88 %), y la ganadería (7,15 %). Pese a esto, lo esencial es poder establecer la magnitud del efecto decremental que sufriría el rubro ingreso (ganadero, agrícola) desde el punto de vista económico, porque esta reducción financiera puede coadyuvar a conservar el bosque por la posible pérdida adquisitiva que soportaría el núcleo familiar.

El anterior análisis se realiza en términos de SMM para poder comparar el escenario actual contra un probable escenario no ideal; sin embargo, desde una perspectiva monetaria, los ingresos que se pueden dejar de percibir en el contexto de este sistema productivo por la pérdida del bosque que regula agua lluvia (45,39 hectáreas cubiertas de bosque alto denso de tierra firme), llega en términos de valor presente (VP) considerando un escenario de 20 años a la suma de \$ 13.906.591 para el caso de ganadería (tabla 26), y \$ 34.766.472 con respecto a la agricultura (tabla 27).



Tabla 26. Flujo de caja para el ingreso ganadero perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 1.311.497 | 1.214.349 | 1.124.397 | 1.041.109 | 963.990 | 892.583 | 826.466 | 765.246 | 708.561 | 656.075 | 607.477 |
| VP 20 años | 13.906.591 | | | | | | | | | | |

| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 1.416.417 | 0,08 | 28.328.340 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 562.479 | 520.814 | 482.235 | 446.514 | 413.439 | 382.814 | 354.457 | 328.201 | 303.890 | | |

Fuente: Presente estudio

Tabla 27. Flujo de caja para el ingreso agrícola perdido por la deforestación del bosque

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja (SM/Año) | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 |
| Factor decuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 3.278.743 | 3.035.873 | 2.810.993 | 2.602.772 | 2.409.974 | 2.231.457 | 2.066.164 | 1.913.115 | 1.771.403 | 1.640.188 | 1.518.692 |
| VP 20 años | 34.766.472 | | | | | | | | | | |

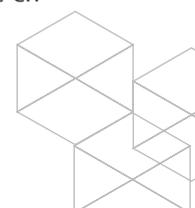
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 3.541.042 | 0,08 | 70.820.840 |
| 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 1.406.196 | 1.302.034 | 1.205.587 | 1.116.284 | 1.033.596 | 957.034 | 886.142 | 820.502 | 759.724 | | |

Fuente: Presente estudio

Las tablas 26 y 27 permiten mostrar el flujo de caja estimado para los ingresos que podrían perderse anualmente. En total este sistema productivo no recibiría \$ 48.673.063 (a VP en 20 años) por la afectación creada al servicio ambiental de regulación del agua lluvia con la deforestación de 45,39 hectáreas cubiertas de BADTF.

Discusión

Con respecto al efecto que puede sufrir el servicio ambiental de regulación del agua lluvia cuando cambia el área cubierta en bosque, el resultado numérico que establece el modelo lineal elegido, permite precisar de acuerdo con la unidad de medida definida para cada serie de datos modelada, que 1 m2 de bosque alto denso de tierra firme en



promedio regula 0.02563 milímetros de agua (Vitar et al., 2017), cifra cuya interpretación también puede ser planteada como la cantidad de recurso hídrico que deja de regularse, si esta misma área cubierta por dicho ecosistema boscoso se pierde bien sea por deforestación u ocurrencia de fenómenos naturales. Esta estimación econométrica puede convertirse a unidades mayores manteniendo su contexto interpretativo; en otros términos, es factible expresar que 1 hectárea (10.000 m²) de bosque regula aproximadamente 256.4 milímetros de agua lluvia, o caso contrario, que la pérdida total de esa misma cobertura vegetal contribuye a reducir la prestación de este servicio ambiental hídrico en igual cantidad.

Desde el punto de vista técnico, el resultado que arrojó el modelo lineal escogido permite observar cómo se comporta la relación funcional regulación hídrica – área en bosque en una ‘situación inicial’, por lo tanto, para poder determinar el efecto negativo que experimenta el servicio de regulación hídrica cuando varía la cobertura boscosa, es necesario comparar ese resultado de línea base con los obtenidos modelando escenarios donde se considere pérdidas del área en bosque.

Este último requerimiento se desarrolló utilizando el mismo modelo lineal ($rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$) dada la robustez que presentan sus distintas pruebas estadísticas, y modificando la serie de datos correspondiente a la variable independiente para poder considerar disminuciones del 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 % y 100 %.

Respecto al efecto que puede sufrir el ingreso ganadero a partir de variaciones en el servicio ambiental de regulación hídrica, los resultados que arroja el modelo lineal elegido, permiten primero precisar de acuerdo con la unidad de medida establecida para cada serie de datos modelada, que 1 milímetro de agua regulado por el bosque alto denso de tierra firme genera \$ 159,3 de ingreso ganadero aproximadamente.

Debido a la funcionalidad directa que existe entre estas dos variables, esa relación también puede explicarse como el monto de dinero que deja de percibirse si esa cantidad de recurso hídrico no lo regula este ecosistema natural. Vale la pena precisar que dicha estimación econométrica puede convertirse a unidades mayores conservando su marco interpretativo; en otros términos,

es factible decir que 256.4 milímetros de agua regulados por 1 hectárea de bosque generan \$ 40.834,3 de ingreso ganadero, o caso contrario, que la pérdida total de ese servicio ambiental disminuye esta clase específica de recursos económicos en una cuantía equivalente.

De otro lado, con el cálculo de la elasticidad $\partial y/\partial x$ a partir de los resultados arrojados por la regresión del modelo lineal escogido ($ing_ganad = \beta_0 + \beta_1 rh + \mu$) se estableció el efecto total existente entre estas dos variables, es decir, en que tanto por ciento puede disminuir el ingreso ganadero si el servicio ambiental de regulación hídrica se reduce en una unidad porcentual.

Concretamente, la elasticidad estimada permite determinar que en la zona de estudio delimitada para el departamento del Guaviare, el flujo de recursos económicos generados por la actividad ganadera decrece en promedio 22,5 % cuando la función reguladora del agua lluvia disminuye en 1 %. Como esto es una elasticidad, entonces su magnitud relativa funcionará como una constante (22,5 %) sin importar que se pierda el 1 % de un 1 milímetro, un litro o incluso de toda el agua lluvia regulada.

Considerando el cálculo de la elasticidad, se puede establecer que el ingreso ganadero se reduce en 21 % y el ingreso agrícola en 10,7 % aproximadamente cuando el área cubierta de bosque se disminuye en 100 %. Dicha medida de daño representará el valor económico que se le puede imputar al bosque alto denso de tierra firme vía ingreso, dada la caída de productividad ganadera y agrícola que crea la pérdida total de este ecosistema natural y su función reguladora de agua lluvia.

Conclusiones

Desde una perspectiva general, el modelamiento financiero es una técnica muy empleada para proyectar en el tiempo (to.....tn) una o más variables monetarias, con el propósito de tener información confiable que permita tomar decisiones rápidas y efectivas respecto a la conservación de los ecosistemas naturales que ayudan a generar recursos monetarios vía los servicios ambientales que suministran. Si los resultados de este modelamiento arrojan como resultado una variación negativa y significativa en la(s) variable(s) proyectada(s), se



puede establecer que se deben tomar medidas correctivas para poder mantener el flujo de recursos monetarios que son percibidos normalmente por el desarrollo de las actividades productivas que requieren de dichos servicios ambientales.

Retomando la esencia técnica del anterior contexto teórico, se puede establecer que el fin de modelar desde una visión financiera la potencial pérdida de ingresos debido al deterioro de los ecosistemas naturales, es determinar el posible perjuicio económico sufrido por todos los pro-

pietarios de predios donde están los relictos de bosque y la vegetación secundaria, dentro del estrato y los sistemas productivos escogidos como marco muestral, si deforestan el bosque alto denso de tierra firme para darle otro uso distinto al suelo. Como este tipo de decisiones no lleva a realizar ninguna inversión, sino a conservar las coberturas vegetales existentes, entonces puede entenderse de antemano que proteger esas coberturas boscosas ayudará a mantener los recursos económicos que garantizan su bienestar familiar.

Bibliografía

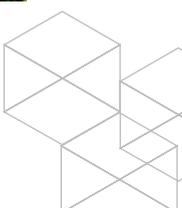
Aristizabal, N. (2014). *Evaluación Financiera*. Bogotá: Universidad Nacional a Distancia – UNAD.

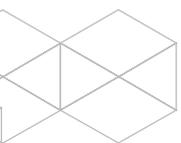
Instituto Amazónico de Investigaciones científicas – SINCHI. (2016). *Proyecto: Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare, Síntesis de la encuesta para la estratificación y tipificación de los sistemas productivos en el área de estudio*. Bogotá: SINCHI.

Mascareñas, J. (2008). *Valoración de proyectos de inversión productivos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Ramírez C., García M. et al. (2009). *Fundamentos de Matemáticas Financieras*. Cartagena: Universidad Libre – Centro de Investigaciones (sede Cartagena).

Sarmiento, J. (2002). *Construcción de flujos de caja*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

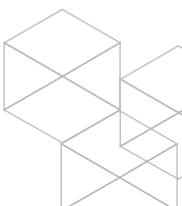




11.

Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos de Almacenamiento de Carbono y Regulación del Agua Lluvia en el Guaviare

Carlos Moreno, Jaime Barrera, Sandra Castro y Bernardo Giraldo



Resumen

La pérdida del bosque que almacena carbono, que regula el agua lluvia, y que presta otros servicios ambientales casi siempre lo explica el siguiente hecho: el *homo economicus* considera que este recurso natural existe simplemente, y que no le suministra ningún beneficio al hombre fuera de la madera. En estas circunstancias ¿para qué valorar los servicios ambientales prestados por estos ecosistemas?, la respuesta más clara es que si bien ya se sabe en algunos escenarios institucionales la importancia real de los bosques, esto tal vez sea insuficiente para poder garantizar su conservación y uso sostenible a escala local; razón por lo cual, el apoyarse en herramientas como las que proporciona la valoración económica es una alternativa viable para ayudar a que se conozca, entre quienes tienen la tenencia de la tierra donde se encuentran localizados los bosques nativos, otros beneficios proporcionados por estos ecosistemas que pueden representar para la familia ingresos adicionales o en otros casos un requerimiento para evitar la pérdida del ingreso que genera sus actividades productivas, siendo esto último un nuevo elemento de juicio con el cual se espera que la toma de decisiones con respecto a conservar o deforestar sea más objetiva.

Tomando como referente el anterior contexto teórico, este artículo en esencia se focaliza a presentar el procedimiento y los resultados obtenidos con la aplicación técnica de algunas metodologías para valorar dos servicios ambientales prestados por el bosque alto denso de tierra firme localizado en el departamento del Guaviare (zona de sustracción de la reserva forestal protectora – establecida por la Ley 2da de 1959). En este orden de ideas, el primer ejercicio tiene como objetivo establecer una aproximación monetaria del valor económico que puede ser generado por dicho ecosistema forestal, a partir del servicio ambiental que sus diferentes compartimientos suministran en materia de almacenamiento de carbono; y el segundo ejercicio, se orienta a determinar una ‘proxy’ del ingreso agropecuario que puede dejar de percibirse como efecto de la deforestación del bosque, y la consecuente pérdida del servicio ambiental de regulación del agua lluvia.

Finalmente, es esencial precisar que para poder consolidar con el mayor rigor técnico estos dos ejercicios

de valoración económica ambiental, se usó la información primaria generada por el Instituto SINCHI mediante la encuesta predial aplicada con el fin de tipificar los sistemas productivos en el departamento del Guaviare (2015), e igualmente información de los mercados de carbono forestal (datos publicados fundamentalmente por *Forest Trends* en www.ecosystemmarketplace.com/publications), así como los distintos resultados derivados del estudio donde se estimó a nivel municipal el servicio ambiental de regulación hídrica en relictos de bosque alto denso de tierra firme (2015). Es importante señalar, que alguna de esta información fue ajustada con el objeto de generar las series de tiempo en la cantidad de observaciones y unidades de medida requeridas para realizar, esencialmente, los cálculos y las regresiones econométricas que permitieron estimar una proxy del valor económico que le puede ser imputado al bosque a partir de su capacidad para almacenar carbono y de la función reguladora prestada por dicho ecosistema natural en términos hídricos.

Palabras clave: Servicios ambientales, valoración económica, bosques, regulación del agua lluvia, almacenamiento de carbono, mercados, ingresos

Introducción

La valoración económica le apunta a que los recursos escasos se asignen de la mejor forma y que se haga un uso eficiente de estos, dado que su objetivo es ayudar a encontrar un nivel óptimo de bienestar social. Considerando este marco conceptual, se desarrollan dos ejercicios orientados a obtener valores económicos por la prestación de los servicios ambientales de almacenamiento de carbono y regulación del agua lluvia que puedan servir de herramienta para la toma de decisiones en términos de conservación del bosque alto denso de tierra firme, situado en el área de estudio del departamento del Guaviare.

Es importante precisar, que la valoración del servicio de regulación del agua lluvia se fundamenta en la metodología llamada función de daño a través del método de cambios en productividad, porque esta fue la herramienta seleccionada para poder estimar una aproximación del valor que puede tener, desde una visión económica,



este servicio ambiental proporcionado por los relictos de bosque alto denso de tierra firme localizados en el área de estudio. Se enfatiza que el resultado conseguido con esta valoración es una medida meramente antropocéntrica, es decir, que no considera el valor intrínseco de esa particular función ecosistémica, dado que es incalculable (puede ser infinita) y por lo tanto cualquier dato estimado no tendría nunca una interpretación adecuada sobre el mismo y sobre el ecosistema natural que la genera (bosques).

Las funciones de daño, por lo general se usan para valorar los impactos causados por cambios de la calidad u oferta ambiental sobre la salud humana, sobre la producción física de bienes, y sobre el ingreso monetario generado por el desarrollo de actividades económicas como las agropecuarias, porque estos son los impactos que se pueden estimar con un mayor nivel de confianza. Técnicamente, dicha tipología de funciones hace parte del grupo de metodologías que contemplan la calidad u oferta ambiental como otro insumo o factor productivo, lo cual puede ser representado matemáticamente con la siguiente igualdad general:

$X = (V, k, q)$

Dónde:

- X** = Nivel de ingreso
- V** = Factores fijos de producción
- k** = Factores variable de producción
- q** = Factores ambientales (oferta, calidad)

Como se puede inferir, manteniendo los factores fijos y variables constantes para facilitar el análisis, cualquier cambio negativo en q (deforestación, contaminación) va a crear un efecto directo en X, es decir, ocasionará una reducción del ingreso cuya magnitud va a depender de la dimensión total que pueda tener la afectación ambiental causada por actividades antrópicas efectuadas. Como ejemplo, en un escenario extremo, la escasez total de agua debido a la tala insostenible del bosque y la consecuente pérdida de los servicios hídricos, conduce a que el beneficio neto de las actividades agropecuarias desarrolladas en un área determinada sea cero (0), o tienda a cero por la pérdida de cultivos y muerte del ganado.

Métodos

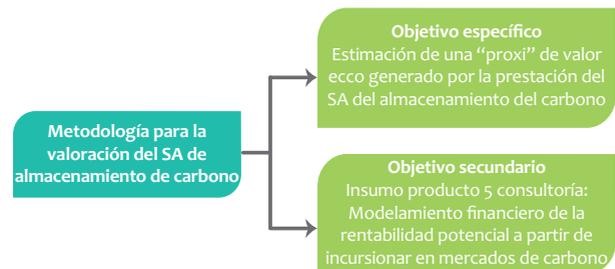
Área de estudio

Desde el punto de vista espacial, los ejercicios de valoración económica de los servicios de almacenamiento de carbono y regulación del agua lluvia tienen como escenario de trabajo el área de estudio definida concretamente para los relictos de bosque y la vegetación secundaria cuyas coberturas cubren una superficie de 89.929,7 y 12.980,6 hectáreas respectivamente en jurisdicción de los municipios de San José, El Retorno y Calamar (SINCHI, 2015).

Valoración económica del servicio de almacenamiento de carbono

La metodología que se describe a continuación tiene un objetivo específico, el cual consiste en establecer una *aproximación* monetaria del valor económico que puede ser generado por los relictos de bosque nativo localizados en el área de trabajo en el departamento del Guaviare (zona de sustracción de la reserva forestal protectora – establecida por la Ley 2da de 1959), a partir del servicio ambiental que proporciona este ecosistema en materia de almacenamiento de carbono (figura 1).

Figura 1. Objetivos de la metodología para valorar el SA de carbono

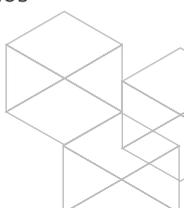


Fuente: Elaboración propia

En términos concretos, el paso a paso metodológico que fue adelantado y mediante el cual se logró alcanzar con el mayor rigor técnico el objetivo específico mencionado anteriormente es el siguiente:

Estimación de biomasa y cantidad de carbono almacenado en los relictos de bosque alto denso de tierra firme

Desde el punto de vista técnico, en el estudio realizado por Pinzon *et al.*, (2017) la cantidad de biomasa por hectárea y por tipo de compartimento se estimó, para los relictos de bosque alto denso de tierra firme ubicados



dentro del área de estudio en el departamento del Guaviare (tabla 1), a partir de información primaria generada en parcelas de muestreo y en modelos alométricos que relacionan características físicas de los individuos arbóreos muestreados (densidad de la madera, diámetro a la altura del pecho). Así mismo, en este estudio se usó un factor constante de 0,5 para efectuar la conversión de biomasa estimada a contenido de carbono, lo cual es consecuente con lo establecido en diversas investigaciones especializadas en dicho tema (Clark, 2001; Malhi, 2004; Chave, 2005; Aragão, 2009)¹.

Tabla 1. Estimación del carbono almacenado por compar-timentos de biomasa en relictos de bosque alto denso de tierra firme – Departamento del Guaviare

| Tipo de depósito | Compartimento | Biomasa ton/ha | C ton/ha | % |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| Materia viva sobre el suelo | Arbóreo | 212.74 | 106.370 | 90.22 |
| | Palmas | 5.27 | 2.635 | 2.23 |
| | Tallos leñosos con DAP < 10 cms | 2.79 | 1.395 | 1.18 |
| | Vegetación herbácea | 1.95 | 0.975 | 0.83 |
| Materia orgánica muerta | Árboles muertos en pie y caídos | 4.69 | 2.345 | 1.99 |
| | Detritos | 4.21 | 2.105 | 1.79 |
| | Hojarasca | 4.15 | 2.075 | 1.76 |
| TOTAL | | 235.80 | 117.900 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia

En términos concretos, en cada hectárea de bosque alto denso de tierra firme localizada dentro del área de estudio, hay 236 toneladas de biomasa (entre materia viva sobre el suelo y materia orgánica muerta) que tiene el potencial de almacenar 117,9 toneladas de carbono, siendo el compartimento de mayor importancia el arbóreo porque acumula un poco más del 90 % de este gas efecto invernadero – GEI. A manera de síntesis, se precisa que la cantidad de carbono almacenado por hectárea es el dato cuya estimación se requiere realizar para poder desarrollar el siguiente paso de esta metodología de valoración económica.

¹ Estas investigaciones determinan que el contenido de carbono corresponde al 50 % de la biomasa de los árboles vivos.

Conversión de carbono almacenado a dióxido de carbono equivalente

Esta conversión es necesario hacerla, porque en los mercados de carbono las reducciones de emisiones de gases efecto invernadero – GEI son medidas en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), y para su negociación son traducidas en lo que se llama Certificados de Emisiones Reducidas – CER. En términos prácticos, un CER corresponde exactamente a una tonelada de CO₂e que deja de emitirse a la atmósfera porque está “fijada en la tierra”, y puede ser vendida a gobiernos, empresas y personas naturales que quieran adquirirla con el objetivo de satisfacer algún fin concreto, como lo puede ser por ejemplo dar cumplimiento a obligaciones normativas, compromisos internacionales, o mitigar sus propias emisiones.

Desde el punto de vista técnico, la cantidad de CO₂e es obtenida multiplicando las toneladas estimadas del carbono almacenado en el bosque por 3,67 (IPCC, 2006), factor constante que resulta al dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono (44) entre el peso específico de dicho elemento químico (12). Considerando este procedimiento descrito, en la tabla 2 se presentan los resultados del cálculo de CO₂e efectuados por tipo de compartimento para los relictos de bosque alto denso de tierra firme, ubicados dentro del área de estudio en el departamento del Guaviare.

Tabla 2. Conversión del carbono almacenado a dióxido de carbono equivalente en relictos de bosque alto denso de tierra firme – Departamento del Guaviare

| Tipo de depósito | Compartimento | Biomasa ton/ha | C ton/ha | CO ₂ e ton/ha |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Materia viva sobre el suelo | Arbóreo | 212.74 | 106.370 | 390.378 |
| | Palmas | 5.27 | 2.635 | 9.671 |
| | Tallos leñosos con DAP < 10 cms | 2.79 | 1.395 | 5.120 |
| | Vegetación herbácea | 1.95 | 0.975 | 3.578 |
| Materia orgánica muerta | Árboles muertos en pie y caídos | 4.69 | 2.345 | 8.606 |
| | Detritos | 4.21 | 2.105 | 7.725 |
| | Hojarasca | 4.15 | 2.075 | 7.615 |
| TOTAL | | 235.80 | 117.900 | 432.693 |

Fuente: Elaboración propia



Como lo permite deducir la anterior información (tabla 2), en el bosque alto denso de tierra firme cada hectárea tiene el potencial de almacenar aproximadamente 432,7 toneladas de CO₂e; lo cual equivale a que esa misma unidad de área genera igual cantidad de CER que pueden ser negociados en el mercado, mediante proyectos que compensen emisiones de gases efecto invernadero – GEI a partir del desarrollo de actividades forestales como lo son por ejemplo la conservación del bosque natural, cerramientos, establecimiento de cercas vivas, corredores biológicos, barreras rompevientos y sistemas silvopastoriles.

Identificación del mercado de carbono

Desde este punto de vista, la información sobre precios y cantidades negociadas que será utilizada para efectuar la valoración económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono, será la que el mercado voluntario de carbono forestal viene reportando cada año desde 2007 – 2008 (se halla detallada en los informes de Forest Trends) porque esta se deriva de proyectos donde la conservación, restauración y uso sostenible del bosque es la base de la compensación por reducción de emisiones para GEI certificadas.

Determinación del precio de mercado para negociar los CER

Debido a la importancia de contar con información confiable para consolidar este ejercicio de valoración económica, se identificaron y seleccionaron para ser utilizados los datos sobre cantidades de CO₂e transadas y precios promedio que Forest Trends publica en el informe anual denominado *El estado de los mercados de carbono forestal* (tabla 3 – 4). Aunque existe mercado primario y secundario, la información contemplada corresponde al primero de ellos porque allí es donde son negociados solo los CER emitidos por proyectos nuevos mediante contratos de futuro, lo cual sería el caso concreto para el área de estudio.

Tabla 3. Cantidad de CO₂e transado en los mercados de carbono forestal

| Mercado | Cantidad transada (MtCO ₂ e) | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Primario | 5.0 | 10.5 | 32.0 | 21.0 | 22.0 | 30.0 | 77.0 | 84.0 |

Fuente: Forest Trends, Ecosystem Marketplace

Tabla 4. Precio de transacción de CO₂e en los mercados de carbono forestal

| Mercado | Precio promedio (US\$/tCO ₂ e) | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Primario | 3.8 | 4.5 | 5.5 | 8.1 | 7.5 | 5.0 | 3.8 | 3.3 |

Fuente: Forest Trends, Ecosystem Marketplace

Con el fin de estimar un precio de mercado indicativo para negociar los CER emitidos por un potencial proyecto de carbono forestal dentro del área de estudio, se puede recurrir a dos opciones: la más sencilla es calcular un promedio usando como ponderador las cantidades de CO₂e transadas durante el periodo 2008 – 2015 y, por otro lado, realizar una regresión econométrica donde el precio esté en función de la cantidad ($P = \beta_0 + \beta_1Q + \mu$). Este último modelo puede presentar problemas de confianza estadística, debido a que las series de tiempo para cada una de estas variables sólo cuentan con ocho datos disponibles, lo cual generalmente es insuficiente para que los resultados sean óptimos (tabla 5).

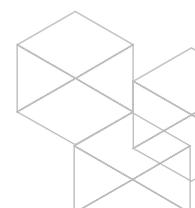


Tabla 5. Estimación del precio de mercado para CER de carbono forestal

| regress precio cantidad | | | | | | |
|-------------------------|------------|-----------|------------|-----------------|----------------------|----------|
| Source | SS | df | MS | | | |
| Model | 4.38851329 | 1 | 4.38851329 | Number of obs = | 8 | |
| Residual | 17.4602394 | 6 | 2.9100399 | F(1, 6) = | 1.51 | |
| | | | | Prob > F = | 0.4654 | |
| | | | | R-squared = | 0.2009 | |
| | | | | Adj R-squared = | 0.0677 | |
| | | | | Root MSE = | 1.7059 | |
| precio | Coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
| cantidad | -.0269017 | .0219064 | -1.23 | 0.369 | -.0805048 | .0267013 |
| _cons | 6.134105 | .9787421 | 6.27 | 0.001 | 3.739209 | 8.529 |

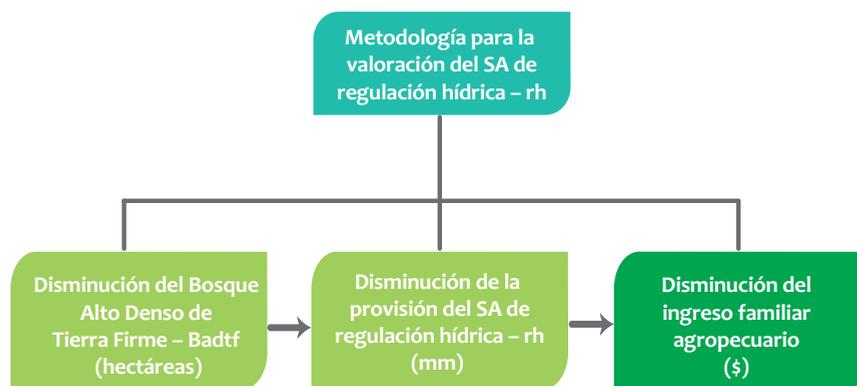
Fuente: Elaboración propia

Considerando la anterior precisión sobre confianza estadística, verificada con los distintos resultados arrojados por la regresión lineal $P = \beta_0 + \beta_1Q + \mu$ que son presentados en la tabla 5, se determina no contemplar dicho método en la estimación de un precio para los CER que pueden ser emitidos por un potencial proyecto de carbono forestal dentro del área de estudio. Desde una visión técnica, dicha regresión tiene muy pocos datos (8) que permitan predecir con cierta certidumbre un precio promedio a partir del comportamiento anual de las cantidades de CO₂e, además la prueba t Student (P>|t|) y la prueba F Fisher (Prob > F) tienen valores altos con respecto a sus correspondientes referentes estadísticos normales ($\approx 0,000$), e igualmente el coeficiente de determinación (R²) demuestra que la confiabilidad del modelo estimado es baja porque su valor está lejano a 1 (0,2009), lo cual indica que la cantidad de CO₂e explica tan sólo el 20% del comportamiento de la variable dependiente, es decir el precio de mercado para los CER de carbono forestal.

2.3. Valoración económica del servicio de regulación del agua lluvia

La metodología consiste en determinar una aproximación del ingreso agropecuario que puede dejar de percibirse como efecto de la deforestación del bosque dentro del área de trabajo en el departamento Guaviare (zona de sustracción de la reserva forestal protectora – establecida por la Ley 2da de 1959), y la consecuente pérdida del servicio ambiental que provee dicho ecosistema en materia de regulación del agua lluvia (figura 2). Técnicamente, el monto total obtenido por esa proxy monetaria corresponderá al valor económico que le será imputada a los relictos de bosque alto denso de tierra firme por su capacidad natural de regular el agua.

Figura 2. Metodología para valorar el SA de regulación hídrica – rh



Fuente: Elaboración propia

Identificación, selección y transformación de la información básica para la valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica – rh

En primer lugar, es esencial clarificar que para el desarrollo de este ejercicio de valoración económica solo se identificó, seleccionó y transformó información (datos) de las tipologías correspondientes a los nueve sistemas productivos tipificados en el estrato de tierra firme con intervención alta, media y baja (tabla 6). Lo anterior, dado que las estimaciones del servicio ambiental de regulación hídrica realizadas por el Vitar (2017) se hicieron para el bosque alto denso localizado en este estrato y las cuales no pueden extrapolarse a los estratos de sabana y vega porque allí los bosques nativos existentes son distintos (pueden tener mayor o menor cantidad de biomasa, por lo tanto mayor o menor capacidad para regular agua lluvia).

Tabla 6. Tipologías de sistemas productivos considerados para el ejercicio de valoración económica del servicio ambiental de regulación del agua lluvia – rh

| | |
|---|--|
| Estrato de tierra firme con intervención alta | <ul style="list-style-type: none"> • Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF • Ganadero avícola familiar – GaAvF • Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF |
| Estrato de tierra firme con intervención media | <ul style="list-style-type: none"> • Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF • Agropecuario con venta de mano de obra familiar – AgpVmoF • Ganadero con explotación de madera y venta de mano de obra familiar – GaMadVmoF • Agrícola con venta de mano de obra familiar – AgVmoF |
| Estrato de tierra firme con intervención baja | <ul style="list-style-type: none"> • Agrícola con Venta de mano de obra Familiar – AgVmoF • Ganadero con venta de mano de obra familiar – GaVmoF |

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, es importante mencionar que del total de las 385 encuestas realizadas con el objetivo final de estratificar y tipificar los sistemas productivos en

el área de estudio, 347 aportaron la información requerida para desarrollar este ejercicio de valoración económica ambiental, es decir el 90,1 %. Con referencia a las variables utilizadas para determinar el valor económico del bosque por su capacidad reguladora de agua lluvia, de la encuesta fueron seleccionadas las siguientes: área en bosque (ha), ingreso total agrícola (\$) e ingreso total ganado (\$); además, a cada dato que integra estas tres variables se le calculó su respectivo logaritmo natural con el propósito de poder estimar elasticidades que permitan relacionar, porcentualmente, cómo cambia la variable dependiente en función del cambio sufrido por la variable independiente². Lo anterior se sintetiza así:

$$\epsilon = \frac{\Delta \% rh}{\Delta \% abq} \rightarrow \text{Se deriva de este modelo doble - log} \rightarrow \ln rh = \beta_0 + \beta_1 \ln abq + \mu$$

Dónde:

ϵ = elasticidad
 rh = regulación hídrica
 $\ln rh$ = ln regulación hídrica
 abq = área en bosque

Dónde:

$\ln rh$ = ln regulación hídrica
 μ = error estadístico

Respecto a la información sobre el SA de regulación del agua lluvia, fueron utilizados como punto de partida los diversos resultados promedio derivados del estudio realizado por Vitar (2017) para estimar, a nivel municipal, esta función ecosistémica que prestan los relictos de bosque alto denso de tierra firme del Guaviare. Con el objetivo de construir la serie de tiempo para dicha variable (rh), a nivel de cada municipio fue establecida por hectárea la media ampliando cuatro veces el respectivo resultado obtenido en las parcelas de trabajo considerando que su cálculo se realizó en áreas de 2.500 m² (tabla 7), y después se expandió a cada predio esta cifra estimada multiplicándola por su correspondiente cobertura boscosa asumiendo un comportamiento regulador semejante. Así mismo, se le estimó el logaritmo natural a los datos de la variable regulación del agua lluvia – rh con el propósito de poder medir elasticidades mediante modelos doble – log.

2 Cambio que no solo se refleja en magnitud sino también en tendencia, esto debido a que existe entre las variables relacionadas una correspondencia directa (figura 2).

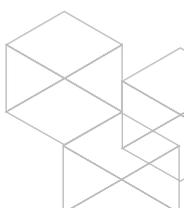


Tabla 7. Procedimiento para construir la serie de tiempo regulación del agua lluvia – rh

| Municipio | rh promedio (Parcela 1/4 ha) mm | rh promedio 1.0 haz mm |
|------------|---------------------------------|------------------------|
| Calamar | 75,37 | 301,48 |
| El Retorno | 72,14 | 288,56 |
| San José | 62,59 | 250,36 |

El área en bosque de cada uno de los 347 predios según su localización municipal

Fuente: Elaboración propia

Como se hace evidente, para desarrollar este ejercicio de valoración económica se trabajó con la información disponible que ha consolidado el Instituto SINCHI, durante el año 2015, en el marco del proyecto *Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare*.

Cálculo del efecto que puede sufrir el servicio ambiental de regulación del agua lluvia – rh a partir de una variación del área cubierta en bosque – abq

En términos prácticos, el SA de regulación del agua lluvia se genera desde una perspectiva biofísica cuando las distintas coberturas vegetales (bosques, arbustales) en interacción con el suelo almacenan agua en periodos invernales y después la liberan lentamente en las épocas de estiaje ocasionando con esta función ecológica un equilibrio natural entre los caudales del ciclo invernal con los caudales de verano (Moreno, 2012). Lo anterior, permite generalizar que los bosques son un importante regulador del recurso agua y que cualquier cambio (ya sea positivo o negativo) en su área siempre va a tener efectos directos sobre la prestación de este servicio ambiental, siendo así mismo la magnitud alcanzada por dichos efectos una consecuencia proporcional al tamaño de la variación espacial que sufra el bosque³.

Esto último, desde una óptica matemática puede ser planteado como una igualdad donde la regulación del agua lluvia está en función del área cubierta en bosque, es decir: $rh = f(abq)$. Debido a que es una relación directa, siempre el comportamiento mostrado por la variable

independiente determinará que la dependiente presente similar tendencia, en otras palabras, si aumenta la superficie con cobertura boscosa también crece la oferta natural del servicio ambiental, y viceversa. En el marco de la valoración económica, dichas inferencias permiten construir el modelo general que servirá para estimar una proxy del cambio negativo que puede ser experimentado por la función reguladora del agua lluvia, a partir de la deforestación del bosque alto denso de tierra firme en el departamento del Guaviare.

Siendo más específicos, este modelo general es el siguiente:

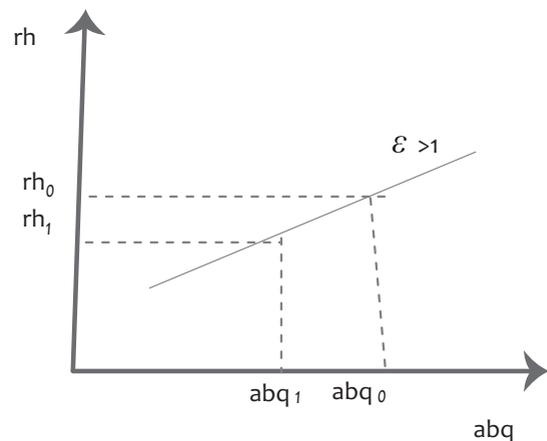
$$rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$$

Dónde:

rh = regulación hídrica
 abq = área en bosque
 μ = error estadístico

La figura 3, precisa con dicho ejemplo que el objeto de este modelo es medir cuánto puede disminuir la rh (rho a rh1), debido a la posible pérdida de una cantidad de abq (abq0 a abq1). Como se puede ver, este tipo de estimación es solamente biofísica pero necesaria para poder asociar esa variación con variables monetarias (ingreso).

Figura 3. Relación directa $rh = f(abq)$



Fuente: Elaboración propia

3 Mientras más grande sea el efecto experimentado (reducción del servicio ambiental hídrico) mayor es el área en bosque alto denso de tierra firme perdida, y viceversa.

Operativamente, para este modelo se correrán las cuatro formas funcionales por el método de mínimos cuadrados ordinarios – MCO (tabla 8), y se escogerá el que presente la mejor significancia estadística a partir de los resultados que arroje la regresión en términos de la prueba F (mide el ajuste global del modelo), las pruebas t de student (miden la relevancia de cada parámetro del modelo, es decir los betas), y el coeficiente de determinación (mide la fiabilidad del modelo estimado con respecto a los datos utilizados).

Tabla 8. Formas funcionales para estimar el cambio en la rh por variaciones del abq

| Modelo | Forma funcional | Interpretación del coeficiente estimado $\partial rh / \partial abq$ |
|--------------|--|---|
| Lineal | $rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$ | Una disminución marginal del área en bosque trae consigo una reducción marginal del servicio de regulación hídrica |
| Doble log | $\ln rh = \beta_0 + \beta_1 \ln abq + \mu$ | Una disminución del 1 % del área en bosque genera una reducción de un tanto por ciento en el servicio de regulación hídrica |
| Log – Lineal | $\ln rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$ | Una disminución marginal absoluta del área en bosque causa una disminución relativa en el servicio de regulación hídrica |
| Lineal – Log | $rh = \beta_0 + \beta_1 \ln abq + \mu$ | Una reducción marginal relativa del área en bosque ocasionará una reducción absoluta en el servicio de regulación hídrica |

Fuente: Elaboración propia

Desde la perspectiva del resultado esperado, se puede decir a manera de síntesis que este paso metodológico permite con su desarrollo establecer en primer lugar una aproximación de la cantidad total de agua lluvia que en promedio regula una hectárea cubierta de bosque alto denso de tierra firme, localizada en la zona de estudio definida por el Instituto SINCHI para el departamento del Guaviare. Este dato numérico tiene gran relevancia, en la medida que también es probable interpretarlo como la cantidad de agua lluvia que deja de ser almacenada y liberada posteriormente, si dicha hectárea con esta clase de bosque se deforesta o pierde por la ocurrencia de algún fenómeno natural⁴ (incendios, terremotos).

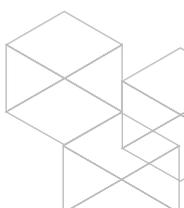
Como segunda medida, en este mismo paso metodológico también se establece, mediante el análisis de regresiones, el efecto directo que puede causar sobre el servicio ambiental de regulación del agua lluvia la reducción del área cubierta en bosque alto denso de tierra firme considerando escenarios del 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 % y 100 %. Lo anterior es importante, porque ayuda a tener un estimativo puntual del agua que deja de regu-

larse cuando la cobertura boscosa se afecta en cada una de estas proporciones señaladas, siendo los resultados logrados información estratégica para tomar decisiones con respecto al manejo y aprovechamiento (uso) sostenible de este particular ecosistema natural.

Cálculo del efecto que puede sufrir el ingreso agrícola (inagric) y ganadero (inganad) a partir de una variación del servicio ambiental de regulación del agua lluvia – rh

La teoría microeconómica, permite plantear que cualquier productor agropecuario orienta su esfuerzo a evitar la disminución de los ingresos netos habituales, o utilidad económica, mientras se mantenga constante el precio definido para todos aquellos bienes destinados al mercado. Pese a tener lógica lo anterior, desde una óptica operativa dicha inferencia es poco aplicable cuando es utilizado, como otro insumo productivo (materia prima), uno o más servicios ambientales derivados de las funciones ecológicas generadas por un ecosistema natural cuyos componentes estructurales soportan, directa e indirectamente, afectaciones negativas (daños) originadas

⁴ Dichos eventos no se valoran en este ejercicio, pero también inciden en la pérdida del SA



por el desarrollo de actividades antrópicas en su área biofísica y/o zonas colindantes con conectividad funcional.

Debido a la necesidad que tiene la producción agropecuaria del agua, una relación donde el deterioro o la pérdida de dicha función reguladora causa como efecto directo la reducción del ingreso vía productividad (\downarrow deterioro / pérdida SA – \downarrow producto – \downarrow ingreso), lo cual puede llegar por ejemplo hasta un nivel cero si hay escasez total de agua durante el periodo de crecimiento vegetativo del cultivo o mientras se levanta el ganado.

Desde un enfoque matemático, esa relación es viable plantearla como una igualdad donde el ingreso (agrícola o ganadero) se encuentra en función del servicio de regulación del agua lluvia, es decir: $ing = f(rh)$. Dicha igualdad, al expresar una relación directa, permite precisar que la magnitud y tendencia (signo) del cambio sufrido por la variable dependiente lo define la dirección e intensidad con que varíe la independiente. Así mismo, es relevante señalar que se escogió el ingreso como variable, porque este término es una expresión monetaria del volumen de productos agropecuarios que pueden sufrir afectaciones si la disponibilidad de agua es menor; además, su elección también facilita calcular para cada sistema productivo estratificado.

En el contexto de la valoración económica, estas inferencias permiten construir el modelo general que ayudará a determinar una aproximación del cambio negativo que puede ser experimentado por el ingreso agrícola y ganadero, debido al deterioro o pérdida total de la función reguladora del agua que genera el bosque alto denso de tierra firme localizado en el departamento del Guaviare. Siendo más específicos, este modelo general es:

$ing = \beta_0 + \beta_1 rh + \mu$

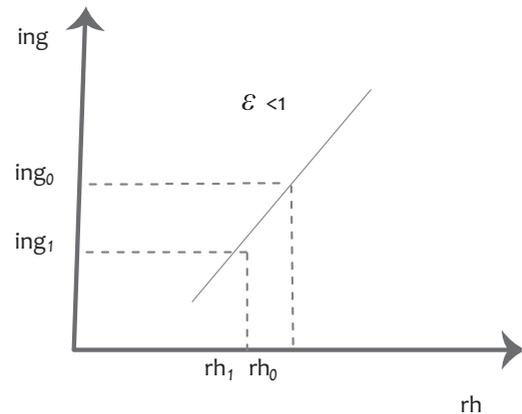
Dónde:

ing = ingreso (agrícola, ganadero)
 rh = regulación hídrica
 μ = error estadístico

La figura 4, precisa con dicho ejemplo que el objeto de este modelo es medir cuánto puede decrecer el ing (ing_0 a ing_1), debido a la posible pérdida de una cantidad de rh (rh_0 a rh_1). Como se observa, esta clase de estimación

relaciona información biofísica con monetaria, lo cual es importante para establecer el efecto que tendría el cambio del área en bosque sobre los ingresos.

Figura 4. Relación directa $ing = f(rh)$



Fuente: Elaboración propia

Para este modelo, como en el caso del anterior paso metodológico descrito, se correrán las cuatro formas funcionales por el método de mínimos cuadrados ordinarios – MCO (tabla 9) y será elegido el que muestre la mejor significancia estadística a partir de los resultados que arroje la regresión estimada en términos de la prueba F, las pruebas t de Student, y el coeficiente de determinación (R^2).

Tabla 9. Formas funcionales para estimar el cambio en el ing por variaciones de la rh

| Modelo | Forma funcional | Interpretación del coeficiente estimado $\partial rh / \partial abq$ |
|--------------|--|--|
| Lineal | $ing = \beta_0 + \beta_1 rh + \mu$ | Una disminución marginal de la regulación hídrica trae consigo una reducción marginal del ingreso. |
| Doble log | $\ln ing = \beta_0 + \beta_1 \ln rh + \mu$ | Una disminución del 1% de la regulación hídrica genera una reducción de un tanto por ciento en el ingreso. |
| Log – Lineal | $\ln ing = \beta_0 + \beta_1 rh + \mu$ | Una disminución marginal absoluta de la regulación hídrica causa una disminución relativa en el ingreso. |
| Lineal – Log | $ing = \beta_0 + \beta_1 \ln rh + \mu$ | Una reducción marginal relativa de la regulación hídrica ocasionará una reducción absoluta en el ingreso. |

Fuente: Elaboración propia

Como es evidente, el propósito de este paso metodológico es estimar una proxy del efecto negativo que puede sufrir el ingreso agrícola y ganadero (*ing_agric*, *ing_ganad*), si cambia la oferta natural del servicio ambiental de regulación del agua lluvia generado por el bosque alto denso de tierra firme. Este cálculo se realiza midiendo con un modelo doble – log la elasticidad entre dichas variables, lo cual es importante porque el valor relativo conseguido es una aproximación de la magnitud o intensidad del impacto que podría originar la ocurrencia de esta específica relación ‘causa – respuesta’. A manera de interpretación, si el valor medido es superior a 1 ($\epsilon > 1$), esto quiere decir que la regulación hídrica fluctúa en una proporción mayor que el ingreso monetario y viceversa, si ese dato calculado no pasa a 1 ($\epsilon < 1$), lo cual por otra parte permite deducir en este último caso que entre la canasta de insumos productivos el agua es esencial para generar los bienes que originan el ingreso.

Cálculo del efecto que puede sufrir el ingreso agrícola (*inagric*) y ganadero (*inganad*) a partir de una variación del área en bosque – *abq*

Según lo demuestran los anteriores pasos metodológicos, existe una clara relación directa entre el área en bosque alto denso de tierra firme y la prestación del servicio de regulación del agua lluvia, así como de este servicio ecosistémico con los ingresos monetarios que se generan a partir del desarrollo de actividades agropecuarias. Enlazar estas dos relaciones, permitirá finalmente establecer una aproximación del cambio que puede experimentar la variable ingreso si sufre alguna variación la superficie boscosa.

Matemáticamente, es posible enlazar esas dos relaciones funcionales señaladas utilizando el concepto microeconómico denominado elasticidad cruzada, esto en razón a que permite asociar ingreso y área en bosque al simplificar desde una perspectiva algebraica la variable regulación hídrica, la cual aquí es usada como conector relacional por la interacción causal que existe entre dicho servicio ambiental con cada una de estas variables.

Es decir:

$$\frac{\Delta\%ing}{\Delta\%abq} = \frac{\Delta\%ing}{\Delta\%rh} \times \frac{\Delta\%rh}{\Delta\%abq}$$

La anterior igualdad planteada, permite concluir que el resultado obtenido al asociar estas dos relaciones funcionales (multiplicación de elasticidades) será finalmente la proxy del valor económico que se le puede imputar al bosque alto denso de tierra firme vía ingreso, considerando la disminución de productividad agropecuaria creada por la pérdida total de dicho ecosistema natural y su función reguladora de agua lluvia. Es preciso tener en cuenta, que el valor atribuido al bosque siguiendo este procedimiento metodológico corresponde a un dato relativo por resultar del producto de dos elasticidades y su magnitud la determina el tamaño del porcentaje estimado, siendo mayor mientras más se acerque a uno. Esto quiere decir que el bosque vale desde una perspectiva económica el equivalente al ingreso que se deja de percibir cuando dicho ecosistema y sus servicios hídricos desaparecen.

Resultados y discusión

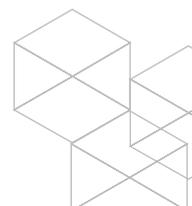
Estimaciones: valoración económica del servicio de almacenamiento de carbono

En primera instancia, se va a desarrollar el método del promedio ponderado. Con los datos reportados por Forest Trends para el periodo 2008 – 2015 se pudo establecer, empleando como variable ponderadora las cantidades de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), que el valor promedio a ser asignado por el mercado en situación de libre interacción entre las leyes de oferta y la demanda al servicio ambiental de almacenamiento de carbono es igual a 4,6 dólares por tCO_{2e} (tabla 10), lo cual corresponde a unos 14.242 pesos colombianos considerando como tasa media de cambio \$ 3.096⁵ aproximadamente.

En conclusión: 1 tCO_{2e} almacenada en la biomasa del bosque vale en promedio ajustado⁶, a precios del mercado voluntario de carbono forestal, 4,6 dólares lo cual es equiparable a \$ 14.242, sien-

5 Esta tasa de cambio es el promedio simple del precio diario del dólar en pesos colombianos desde el 1 de enero hasta el 4 de septiembre de 2016, siendo la fuente oficial el Banco de la República.

6 Se especifica que es un promedio ajustado porque es un promedio ponderado calculado que considera los promedios anuales de precios estimados por Forest Trends.



do a su vez estos dos valores monetarios mencionados anteriormente iguales a 1 CER (Certificado de Emisiones Reducidas) emitido y verificado.

Tabla 10. Estimación general del valor de mercado para el servicio ambiental de almacenamiento de carbono

| Año | Cantidad transada (MtCO _{2e}) | Precio promedio (US\$/tCO _{2e}) | Q x P | Precio Ponderado (US\$/tCO _{2e}) | Ppm - Ppd* Σ |
|--------------|---|---|----------------|--|--------------|
| 2008 | 5.0 | 3.8 | 19.00 | | -0.8 |
| 2009 | 10.5 | 4.5 | 47.25 | | -0.1 |
| 2010 | 32.0 | 5.5 | 176.00 | | 0.9 |
| 2011 | 21.0 | 8.1 | 170.10 | | 3.5 |
| 2012 | 22.0 | 7.5 | 165.00 | | 2.9 |
| 2013 | 30.0 | 5.0 | 150.00 | | 0.4 |
| 2014 | 77.0 | 3.8 | 292.60 | | -0.8 |
| 2015 | 84.0 | 3.3 | 277.20 | | -1.3 |
| Total | 281.50 | | 1297.15 | 4.60 | |

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de la diferencia entre el precio promedio Forest Trends y el precio ponderado para determinar la σ

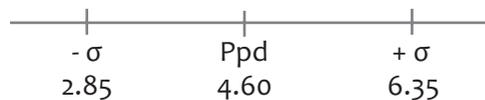
No obstante lo anterior, el tener un valor puntual no es recomendable porque, como ya se mencionó, el mercado de carbono voluntario no tiene ningún tipo de precio preestablecido para realizar transacciones de CO_{2e}; por tanto, con los datos reportados por Forest Trends se calculó la desviación estándar a fin de obtener un rango en el cual se pueda mover entre un mínimo y un máximo el valor económico que es dado por la relación oferta – demanda a este servicio ambiental analizado (almacenamiento de carbono). En este orden de ideas, como primer paso se estableció la varianza (σ^2) de precios (tabla 10) realizando el siguiente procedimiento estadístico:

$$\text{Varianza } \sigma^2 = ((-0.8)^2 + (-0.1)^2 + (0.9)^2 + (3.5)^2 + (2.9)^2 + (0.4)^2 + (-0.8)^2 + (-1.3)^2) / 8 = 3.07$$

Posteriormente, se estimó la desviación estándar ($\sigma = \sqrt{\sigma^2}$) cuyo resultado es igual a $\pm 1,75$, lo cual demuestra en términos del mercado de carbono forestal que el valor económico del servicio ambiental analizado se puede mover entre 2,85 y 6,35 dólares por tCO_{2e} (figura 5), o lo que corresponde a 8.824 hasta 19.660 pesos colombianos respectivamente, tomando como factor de conversión la tasa cambiaria promedio antes señalada (\$ 3.096/1US\$). Es esencial precisar, que hasta aquí se

ha cuantificado un valor y un rango de valores desde el enfoque exclusivo del mercado, más no desde la visión de quienes tienen la tenencia de la tierra en donde está ubicado el bosque alto denso de tierra firme dentro del área de estudio.

Figura 5. Varianza del valor de mercado para el SA almacenamiento de carbono



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la valoración del bosque y del servicio de almacenamiento de carbono que presta este ecosistema, por parte de quienes tienen la tenencia de la tierra, es importante recordar que la aproximación se realiza a partir del concepto de ingreso porque este es un determinante esencial para que dichos actores tomen decisiones sobre si conservar o cambiar el uso del suelo. En este contexto, se puede plantear como premisa lo siguiente: la magnitud del ingreso está en relación directa con el valor económico asignado, desde la óptica de la oferta, al bosque y los servicios ambientales que provee. Es decir:

Ingreso alto → valor alto = conservación
Ingreso bajo → valor bajo = cambio de uso del suelo

En el contexto de este ejercicio el ingreso tiene dos componentes fundamentales, por una parte el precio, que es una variable exógena porque se establece en el mercado a partir de un proceso negociador (fuera del área de estudio); y por otro lado la cantidad, que es una variable endógena porque la determina en términos de área los propietarios o poseedores de predios donde se encuentran localizados los relictos de bosque que almacenan carbono en la biomasa de sus diferentes compartimentos (dentro del área de estudio).

Los distintos resultados conseguidos con la valoración económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono a partir del ingreso (desde la oferta) es necesario referenciarlos en una unidad de área y tiempo estándar. Esta homogenización permitirá que la información sea más simétrica para todos los interesados en

participar de un proyecto donde se compensen emisiones de gases efecto invernadero – GEI, porque se genera como referente un monto de recursos por determinada superficie de bosque en un tiempo fijo, el cual es extrapolable por quienes tienen la tenencia de la tierra dependiendo de los beneficios monetarios totales que deseen obtener. Matemáticamente esto es:

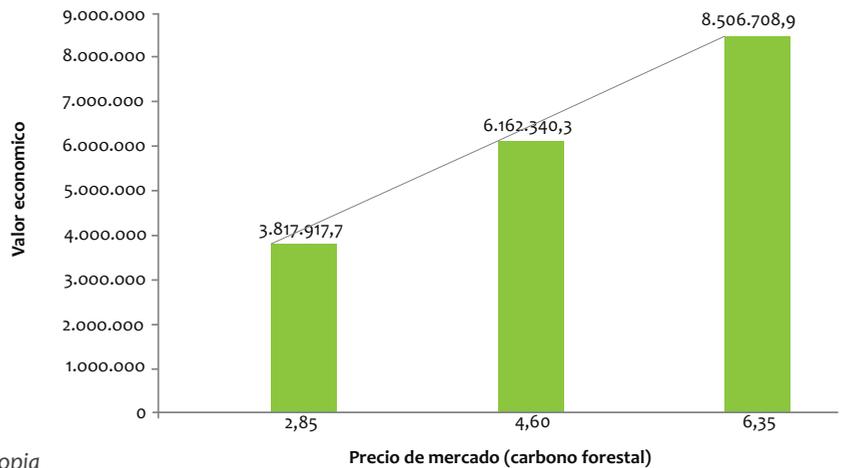
$Ve \approx [IT = (IM \times Q) \times (A)] t$

Donde:

- V =** Valor económico del servicio ambiental (almacenamiento de C)
- IT =** Ingreso total por venta de CER
- IM =** Ingreso marginal (es igual al precio porque surge de la relación O vs D)
- Q =** Cantidad de CER o toneladas de CO₂e por unidad de área
- A =** Área cubierta en bosque (alto denso de tierra firme)
- t =** Tiempo de duración del proyecto de compensación de GEI

Con la aplicación de esta fórmula matemática, se pudo establecer que el almacenamiento de 432,7 tCO₂e en una (1) hectárea de bosque alto denso de tierra firme puede poseer un valor económico, para quienes tienen la tenencia de la tierra, de \$ 3.817.971,7 si son ‘pagadas todas hoy’ en el mercado de carbono forestal a un precio de \$ 8.823,6 cada CER (es decir a 2,85 dólares); esta valoración tenderá a aumentar en la medida en que el precio de mercado se desplace hacia el monto máximo determinado anteriormente con la varianza (+σ), como puede ser observado en la figura 6.

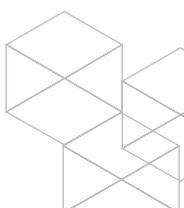
Figura 6. Aproximación al valor del servicio ambiental de almacenamiento de carbono a partir del concepto de ingreso



Fuente: Elaboración propia

Aunque lo anterior es válido si los 432,7 CER se pagaran hoy⁷, en la práctica esto nunca ocurre porque los proyectos de carbono forestal por lo general tienen una duración mayor a 15 años, y el pago de los montos negociados se difieren durante el periodo acordado con quienes demandan certificados de reducción de emisiones. Considerando esta

⁷ Una cosa es un monto de dinero hoy, y otra cosa es el mismo monto de dinero diferido en el tiempo, esto debido a que el costo de oportunidad es diferente.



precisión, a continuación será calculado el valor presente (actual) de este ingreso partiendo de un flujo de fondos futuros para determinar, efectivamente, cuánto se recibiría por la prestación del servicio de almacenamiento de carbono en una (1) hectárea de bosque alto denso de tierra firme localizado en el área de estudio.

Para calcular el valor presente (VP), se toma como base para distribuir el flujo de recursos cada uno de los tres ingresos económicos que fueron estimados a precios del mercado de carbono forestal por hectárea (\$ 3.817.971,7; \$ 6.162.340,3; \$ 8.506.708,9), además se usa una tasa de descuento del 8 %, y el tiempo de proyección se fija en 20 años contemplando que esta es la duración o plazo mínimo de los proyectos REDD (Reducción de Emisiones de Carbono causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques). El resultado que se obtuvo con esta estimación, se presenta en la tabla 11 para el precio correspondiente a 2,85 dólares (donde 432,7 CER = 3.817.971,7 pesos / hectárea).

Tabla 11. Valor presente (VP) del ingreso estimado para la prestación del servicio de almacenamiento de carbono al precio de 2,85 dólares por tCO₂e

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de caja | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 | 190.898,6 |
| Factor descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 |
| Valor presente | 176.757,9 | 163.664,8 | 151.541,5 | 140.316,2 | 129.922,4 | 120.298,5 | 111.387,5 | 103.136,6 | 95.496,8 | 88.423,0 |
| VP 20 años | 1.874.270,4 | | | | | | | | | |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 190898,6 | 8% |
| 0,43 | 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | |
| 91873,1 | 75808,5 | 70193,0 | 64993,5 | 60179,2 | 55721,5 | 51594,0 | 47772,2 | 44233,5 | 40956,9 | |

Fuente: Elaboración propia

El anterior cálculo del VP (tabla 11), permite definir con claridad que el valor económico a ser asignado a partir del uso del concepto de ingreso (como proxy) al servicio ambiental de almacenamiento de carbono, por parte de quienes tienen la tenencia de la tierra donde están los relictos de bosque en el área de estudio, no es 3.817.971,7 pesos / hectárea al año, sino 1.874.270,4 pesos / hectárea durante un periodo de 20 años, siendo a su vez decrecientes los montos monetarios a ser recibidos en cada anualidad (tabla 11). Siguiendo este mismo procedimiento, las estimaciones hechas para los precios correspondientes a 4,60 y 6,35 dólares son de 3.025.138,3 y 4.176.006,1 pesos / hectárea en 20 años respectivamente.

Resultados estimaciones: valoración del servicio de regulación del agua lluvia

En primera instancia, se va a presentar la estimación del efecto que puede sufrir el servicio ambiental de regulación del agua lluvia – rh cuando cambia el área cubierta en bosque – abq. Para efectuar dicho cálculo econométrico, se establecieron las respectivas series de tiempo (346 observaciones) y se corrió el modelo general $rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$ en las cuatro formas funcionales que fueron señaladas en la tabla 8 a través del método de mínimos cuadrados ordinarios – MCO. Como producto de ese ejercicio, se seleccionó el modelo lineal (tabla 12) porque registra el mejor ajuste considerando que la prueba t Student ($P > |t|$) y la prueba F Fisher ($Prob > F$) tienen valores consecuentes con sus referentes estadísticos normales ($\approx 0,000$), así mismo, el coeficiente de determinación (R^2) establece que la confiabilidad del modelo estimado es alta porque su valor está muy cercano a 1 (0,9931).

Tabla 12. Resultados del modelo de regresión lineal: $rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$

```
. regress rh abq
Source | SS   df MS Number of obs = 346
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Model | 6.5427e+10 1 6.5427e+10 Prob > F = 0.0000
Residual | 457565154 344 1330131.26 R-squared = 0.9931
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Total | 6.5885e+10 345 190970079 Root MSE = 1153.3

rh | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----+-----+-----+-----+-----
abq | 0.0256316 .0001156 221.78 0.000 .0254094 .0258641
cons | 529.3553 72.48 7.30 0.000 386.7955 671.9151
```

Fuente: Elaboración propia

El resultado numérico que establece el modelo lineal elegido, permite precisar de acuerdo con la unidad de medida definida para cada serie de datos modelada, que 1 m² de bosque alto denso de tierra firme en promedio regula 0,02563 milímetros de agua lluvia (tabla 12, regress rh – abq; dato resaltado con verde), cifra cuya interpretación también puede ser planteada como la cantidad de recurso hídrico que deja de regularse, si esta misma área cubierta por dicho ecosistema boscoso se pierde bien sea por deforestación u ocurrencia de fenómenos naturales. Vale la pena mencionar, que esta estimación econométrica puede ser convertida a unidades mayores manteniendo su contexto interpretativo; en otros términos, es factible decir que 1 hectárea (10.000 m²) de bosque regula aproximadamente 256,4 milímetros de agua lluvia, o caso contrario, que la pérdida total de esa misma cobertura vegetal ayuda a reducir la prestación de este servicio ambiental hídrico en igual cantidad.

Desde el punto de vista técnico, el resultado que arrojó el modelo lineal escogido permite observar cómo se comporta la relación funcional rh – abq en una ‘situación inicial’, por lo tanto, para poder determinar el efecto negativo que experimenta el servicio de regulación del agua lluvia cuando varía la cobertura boscosa, es necesario comparar dicho resultado de línea base con los que se obtengan modelando escenarios donde se considere pérdidas del área en bosque. Este último requerimiento, fue desarrollado utilizando el mismo modelo lineal ($rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$) debido a la robustez que presentan sus diferentes pruebas estadísticas, y modificando la serie de datos correspondiente a la variable independiente abq para poder considerar reducciones del 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 % y 100 % (tabla 13).

Tabla 13. Modelación de escenarios con pérdida del abq en 30 % - 75 % (Ejemplos)

```
. generate abq3 = abq-(abq*0.3)
. regress rh abq3
Source | SS   df MS Number of obs = 346
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Model | 6.5427e+10 1 6.5427e+10 Prob > F = 0.0000
Residual | 457565154 344 1330131.26 R-squared = 0.9931
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Total | 6.5885e+10 345 190970079 Root MSE = 1153.3

rh | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----+-----+-----+-----+-----
abq3 | 0.036624 .0001651 221.78 0.000 .0362992 .0369488
cons | 529.3553 72.48 7.30 0.000 386.7955 671.9151
```

```
. generate abq5 = abq-(abq*0.75)
. regress rh abq5
Source | SS   df MS Number of obs = 346
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Model | 6.5427e+10 1 6.5427e+10 Prob > F = 0.0000
Residual | 457565154 344 1330131.26 R-squared = 0.9931
-----+-----+-----+-----+-----+-----
Total | 6.5885e+10 345 190970079 Root MSE = 1153.3

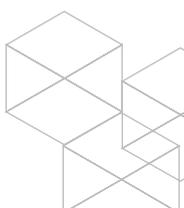
rh | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----+-----+-----+-----+-----
abq5 | 0.025472 .0004624 221.78 0.000 .016377 .034566
cons | 529.3553 72.48 7.30 0.000 386.7955 671.9151
```

Fuente: Elaboración propia

Modelar los seis escenarios precisados anteriormente, permite concluir que mientras más disminuye el área en bosque mayor será el valor del coeficiente β_1 estimado (tabla 13). Esto ocurre porque el modelo regresor ‘asume’ que a menor cobertura boscosa manteniendo constante la cantidad de agua lluvia regulada (los datos de esta variable no cambian), la relación funcional rh – abq mejora. Para aclarar dicho raciocinio, en la situación donde se pierde el 75 % del ecosistema natural que provee el servicio ambiental hídrico, la regresión permite establecer que 0,25 m² de bosque alto denso de tierra firme en promedio regula 0,102547 milímetros de agua (tabla 13, regress rh – abq⁵: dato resaltado con azul); lo cual equivale a decir que en un cuarto de hectárea o 2500 m² este tipo específico de vegetación regula los mismos 256,4 milímetros aproximadamente.

Realizar todos estos cálculos, es un requerimiento metodológico para poder establecer en últimas el efecto que puede tener la pérdida de bosque natural sobre el servicio ambiental de regulación del agua lluvia. Conceptualmente, ese efecto lo representa el valor del excedente de agua regulado por la fracción de área boscosa que permanece en pie, y el cual se le imputa

8 La variable abq5 sintetiza la siguiente transformación: $generate abq5 = abq-(abq*0.75)$.



después al área complemento perdida (deforestada). Desde la perspectiva matemática, lo anterior se traduce en multiplicar la cantidad de bosque remanente que sigue prestando el servicio ambiental, por la diferencia dada entre el coeficiente β_1 estimado para la situación inicial y el coeficiente β_1 calculado en cada escenario modelado (tabla 14). Operativizar este procedimiento permite precisar, como ejemplo, que cuando 1 m² de bosque alto denso de tierra firme disminuye en 75 % se deja de regular 0,01922 milímetros de agua, dicho resultado se obtiene del producto de la siguiente operación aritmética: $0,25 \times (0,02563 - 0,10254)$.

Tabla 14. Efecto de la disminución del *abq* sobre el servicio de *rh* Escenarios de modelación: 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 %, 100 %

| Escenarios modelados <i>abq</i> (m ²) | Coefficiente regresión β_1 <i>rh</i> (mm) | Diferencial β_1 <i>rh</i> Excedente (mm) | <i>abq</i> remanente regulador (m ²) | <i>abq</i> remanente regulador (m ² X 10000) | <i>rh</i> (mm/m ²) | <i>rh</i> (mm/10000) |
|---|---|--|--|---|--------------------------------|----------------------|
| 1 | 0,025636 | - | 1,00 | 10000 | 0,025636 | 256,40 |
| 1 - (1*0,10) | 0,028485 | -0,002848 | 0,90 | 9000 | -0,002056 | -20,56 |
| 1 - (1*0,20) | 0,032046 | -0,006409 | 0,80 | 8000 | -0,005127 | -51,27 |
| 1 - (1*0,30) | 0,036624 | -0,010987 | 0,70 | 7000 | -0,007690 | -76,90 |
| 1 - (1*0,50) | 0,051273 | -0,025636 | 0,50 | 5000 | -0,012818 | -128,18 |
| 1 - (1*0,75) | 0,102547 | -0,076910 | 0,25 | 2500 | -0,019227 | -192,27 |
| 1 - (1*1,00) | 0,000000 | - | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

Sintetizando, en la tabla 14 se muestra la cantidad de agua lluvia (milímetros) que en promedio se deja de regular a medida que disminuye el área en bosque. Con la información estadística generada por el Instituto SINCHI y el modelo desarrollado, es posible replicar este procedimiento a nivel de cada metro cuadrado o hectárea.

Saber cómo cambia la relación funcional *rh* – *abq* metro² a metro² o hectárea por hectárea es relevante (tabla 14 – efectos puntuales), pero también es esencial conocer el efecto total que existe entre estas dos variables en términos relativos (%), porque ese resultado estimado se requiere para poder correlacionar más adelante las variables área en bosque e ingresos agrícolas y ganaderos. Estimar dicho efecto total, se efectúa calculando sobre la regresión del modelo lineal corrido $rh = \beta_0 + \beta_1 abq + \mu$ la elasticidad $\partial y / \partial x$, esto con el fin de medir qué tanto por ciento puede disminuir el servicio ambiental de *rh* si la cobertura boscosa se reduce en una unidad porcen-

tual (tabla 15 – dato resaltado en amarillo).

Tabla 15. Cálculo de la elasticidad para la relación funcio-

```

regress rh abq
-----+-----
Source | SS   df MS   Number of obs = 211
-----+-----+-----
Model | 5.2009e+10 1 5.2009e+10 Prob > F = 0.0000
Residual | 266922721 209 1277142.21 R-squared = 0.9949
-----+-----+-----
Total | 5.2276e+10 210 248931492 Root MSE = 1130.1

-----+-----
rh | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----+-----
abq | -.0254741 .0001262 201.80 0.000 .0252252 .0257229
_cons | 612.0746 87.89459 6.96 0.000 438.801 785.3482

-----+-----
mfx compute, eyex at(mean)
Elasticities after regress
y = Fitted values (predict)
= 8865.2512

-----+-----
variable | ey/ex Std. Err. z P>|z| [ 95% C.I. ] X
-----+-----+-----
abq | .930958 .00938 99.22 0.000 .912569 .949347 323983

```

nal *rh/abq* ($\partial y / \partial x$)

Fuente: Elaboración propia

Específicamente, la estimación de la elasticidad $\partial rh / \partial abq$ (tabla 15) permite establecer que en la zona de estudio delimitada por el Instituto SINCHI para el departamento del Guaviare, cuando el área cubierta con bosque alto denso de tierra firme disminuye en 1 % la función reguladora de agua lluvia en esa misma área perdida (ya sin

ese ecosistema natural) se reduce en 93,1 %. Dato muy cercano al ideal teórico pues este cambio negativo debería ser 100 %, no obstante la diferencia medida (6,9 %) entre ambos valores referenciados hace parte del error estadístico (μ) del modelo calculado. Como es una elasticidad, entonces su magnitud relativa siempre operará como una constante (93,1 %) sin importar que se pierda el 1 % de 1m2, una hectárea o incluso de toda la superficie boscosa.

Otro aspecto importante para ser desarrollado en este ejercicio de valoración económica, es la medición del efecto que puede experimentar el ingreso ganadero a partir de variaciones en el servicio ambiental de regulación del agua lluvia. Como en el caso anterior, el cálculo econométrico se realizó estableciendo las respectivas series de tiempo (211 observaciones) y corriendo el modelo general $ing_ganad = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$ en las cuatro formas funcionales mostradas en la tabla 4 siguiendo el método de mínimos cuadrados ordinarios – MCO. Como resultado de ese ejercicio, se escogió el modelo lineal (tabla 16) porque presenta el mejor ajuste dado que la prueba t Student ($P > |t|$) y la prueba F Fisher ($Prob > F$) tienen valores consecuentes con sus referentes estadísticos normales ($\approx 0,000$), además el coeficiente de determinación (R^2) muestra que la confiabilidad del modelo estimado es buena⁹ porque su valor absoluto no se aleja significativamente de 1 (0,8804).

Tabla 16. Resultados del modelo de regresión lineal: $ing_ganad = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$ Cálculo de la elasticidad para la relación funcional ing_ganad/rh ($\partial y/\partial x$)

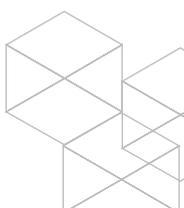
```
regress ing_ganad rh
-----+-----
Source | SS   df MS   Number of obs = 211
-----+-----
Model | 1.3259e+15 1 1.3259e+15 Prob > F = 0.0000
Residual | 1.5161e+16 209 7.2539e+13 R-squared = 0.8804
-----+-----
Total | 1.6487e+16 210 7.8508e+13 Root MSE = 8.5e+06
-----+-----
ing_ganad | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
rh | 2252247 37.25084 4.28 0.000 85.82634 232.6974
_cons | 4856938 672936.7 7.22 0.000 3530324 6183551
-----+-----
mfx compute, exex at(mean)
Elasticities after regress
y = Fitted values (predict)
= 6268834.5
-----+-----
variable | ey/ex Std. Err. z P>|z| [ 95% C.I. ] X
-----+-----
rh | 2252247 .05674 3.97 0.000 .114026 .336424 8865.25
```

Fuente: Elaboración propia

Los resultados numéricos que arroja el modelo lineal escogido, permiten primero precisar de acuerdo con la unidad de medida establecida para cada serie de datos modelada, que 1 milímetro de agua lluvia regulada por el bosque alto denso de tierra firme genera \$ 159,26 de ingreso ganadero aproximadamente (tabla 16, regress $ing_ganad - rh$: dato resaltado en verde). Debido a la funcionalidad directa que existe entre estas dos variables, esa relación también puede explicarse como el monto de dinero que deja de percibirse si esa cantidad de recurso hídrico no es regulada por este ecosistema natural. Vale la pena precisar que esa estimación econométrica puede convertirse a unidades mayores conservando su contexto interpretativo; en otros términos, es factible decir que 256,4 milímetros de agua regulados por 1 hectárea de bosque generan \$ 40.834,3 de ingreso ganadero, o caso contrario, que la pérdida total de ese servicio ambiental disminuye esta clase específica de recursos económicos en una cuantía equivalente.

De otro lado, con el cálculo de la elasticidad $\partial y/\partial x$ a partir de los resultados arrojados por la regresión del modelo lineal escogido ($ing_ganad = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$) se estableció el efecto total existente entre estas dos variables, es decir, en qué tanto por ciento puede disminuir el ingreso ganadero si el servicio ambiental de regulación del agua lluvia se disminuye en una unidad porcentual (tabla 16 – dato resaltado con amarillo). Concretamente, la elasticidad estimada permite precisar que en la zona de estudio delimitada para el departamento del Guaviare, el flujo de recursos económicos generados por la actividad ganadera decrece en promedio 22,5 % cuando la función reguladora del agua disminuye 1%. Como esto es una elasticidad, entonces su magnitud relativa funcionará como una constante (22,5 %) sin importar que se pierda el 1 % de un 1 milímetro, un litro o incluso de toda el agua regulada. Considerando que ya fueron calculadas las elasticidades correspondientes a las relaciones funcionales $rh - abq$ e $ing_ganad - rh$, el cruce de sus resultados (multiplicación) permitirá finalmente establecer una aproximación del cambio que puede experimentar la variable ingreso si sufre alguna variación la superficie cubierta en bosque. En este orden de ideas, el producto de la operación

9 La confiabilidad se connota como ‘buena’ porque el valor estimado por el modelo es > al 10 % y < al 20 % del límite máximo del coeficiente de determinación (1).



0,930958 x 0,225224 deja establecer que el ingreso ganadero se reduce en 21 % aproximadamente cuando el área boscosa disminuye en 100 %, (tabla 17). Dicha medida de daño representará el valor económico que se le puede imputar al bosque alto denso de tierra firme vía ingreso, dada la caída de productividad ganadera que crea la pérdida total de este ecosistema natural y su función reguladora de agua lluvia.

Tabla 17. Cálculo de la elasticidad cuando la *rh* y el *abq* tienden a cero¹⁰

| | |
|--|--|
| <pre> generate rh1 = rh - (rh*0.99) regress ing_ganad rh1 mfx compute, eyex at(mean) Elasticities after regress y = Fitted values (predict) = 6268834.5 ----- variable ey/ex Std. Err. z P> z [95% C.I.] X -----+----- rh1 .2252247 .05674 3.97 0.000 .114026 .336424 88.6525 generate abq1 = abq - (abq*0.99) regress rh abq1 mfx compute, eyex at(mean) Elasticities after regress y = Fitted values (predict) = 8865.2512 ----- variable ey/ex Std. Err. z P> z [95% C.I.] X -----+----- abq1 -.930958 .00938 99.22 0.000 .912569 .949347 3239.83 </pre> | <p>Se establece que esa pérdida del ingreso (21 %) se da por una disminución del 100 % del área en bosque, dado que el valor de la elasticidad se mantiene constante cuando la <i>rh</i> y el <i>abq</i> tiende a cero (valores resaltados con color amarillo y verde)</p> |
|--|--|

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de hacer más explícita la magnitud del monto relativo que se le imputa al bosque por la provisión del servicio ambiental de regulación del agua lluvia vía pérdida de ingreso monetario, a continuación se presenta un ejemplo ilustrativo del valor presente para este daño económico, partiendo de un flujo de fondos futuros que ayuda a entender cuánto se dejaría de recibir efectivamente por no contar con dicha función reguladora¹¹. Considerando lo anterior, para calcular el valor presente (VP) se utilizó como referente de análisis el SMM del año 2017 (\$ 737.717), siendo su cuantía la que se proyecta desde el año 1 hasta el 20; se aumenta primero con el IPC¹² promedio del periodo 2010 – 2016 (3,92¹³) y se disminuye después en el porcentaje correspondiente a la reducción sufrida por el ingreso ganadero (21 %). La tasa de descuento empleada es el 8 %, y el resultado de esta estimación realizada se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Valor presente (VP) de la pérdida de ingreso ganadero por la reducción del área en bosque y el servicio ambiental de regulación del agua lluvia

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo de caja (SMM) | 582796,4 | 605642,4 | 629393,5 | 654055,2 | 679693,9 | 706338,2 | 734026,9 | 762801,1 | 792702,6 |
| Factor descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 |
| Valor presente | 539626,3 | 519240,7 | 499632,9 | 480750,1 | 462588,2 | 445112,9 | 428297,6 | 412117,7 | 396548,7 |
| VP 20 años | 7.671.767 | | | | | | | | |

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 823776,5 | 856070,9 | 889628,9 | 924502,4 | 960742,9 | 998404,0 | 1037541,4 | 1078213,0 | 1120479 | 1164401,7 | 1210046,2 |
| 0,46 | 0,43 | 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 |
| 381567,9 | 367154,1 | 353283,9 | 339937,6 | 327095,5 | 314738,6 | 302848,4 | 291407,5 | 280398,8 | 269805,9 | 259613,2 |

Fuente: Elaboración propia

¹⁰ Para realizar esta aproximación, se debe tomar en la transformación de la variable un valor muy cercano a 1, pero jamás 1 porque el modelo estimado arroja como resultado problemas de colinealidad.
¹¹ Es importante recordar que el agua en el marco de este ejercicio es un insumo productivo.
¹² IPC = Índice de precios al consumidor
¹³ Este dato se tiene al promediar la siguiente información generada por el DANE: 3,17 (2010), 3,73 (2011), 2,44 (2012), 2,94 (2013), 3,66 (2014), 6,77 (2015) y 5,75 (2016).

El anterior cálculo del VP (tabla 18), lleva a concluir que el valor económico a ser imputado a partir del uso del concepto ingreso (como una proxy) al servicio ambiental de regulación del agua lluvia, por parte de quienes tienen la tenencia de la tierra donde se ubican los relictos de bosque alto denso de tierra firme en el área de estudio es \$ 9.539.490, esto porque corresponde a la diferencia entre lo que podría recibirse en términos de SMM durante un periodo de 20 años si mantienen la cobertura boscosa donde se regula agua (\$ 17.211.257), y lo que probablemente recibirían (\$ 7.671.767) si la deforestan con el único propósito de continuar ensanchando la frontera ganadera. Finalmente, el último aspecto a ser desarrollado en este ejercicio de valoración económica es la estimación del efecto que puede sufrir el ingreso agrícola a partir de cambio en el servicio ambiental de regulación del agua lluvia. Como en el caso anterior, el cálculo econométrico se realizó estableciendo las respectivas series de tiempo (211 observaciones) y corriendo el modelo general $ing_agric = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$ en las cuatro formas funcionales registradas en la tabla 4 siguiendo el método de mínimos cuadrados ordinarios – MCO. Como resultado de este ejercicio, fue escogido el modelo lineal (tabla 19) porque presenta el mejor ajuste pese a que la prueba t Student ($P > |t|$) y la prueba F Fisher ($Prob > F$) no presentan para el escenario agrícola valores muy consecuentes con sus referentes normales ($\approx 0,000$).

Tabla 19. Resultados del modelo de regresión lineal: $ing_agric = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$. Cálculo de la elasticidad para la relación funcional ing_agric/rh ($\partial y/\partial x$)

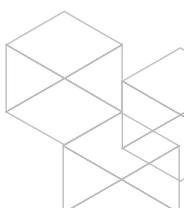
```
regress ing_agric rh
-----+-----
Source | SS   df MS   Number of obs = 346
-----+-----
Model | 6.3957e+13 1 6.3957e+13 Prob > F = 0.3377
Residual | 2.3872e+16 344 6.9394e+13 R-squared = 0.0027
-----+-----
Total | 2.3936e+16 345 6.9379e+13 Root MSE = 8.3e+06
-----+-----
ing_agric | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
rh | 11.15198 32.45413 0.96 0.338 -32.67674 94.99028
_cons | 2110942 532110 3.98 0.000 1072343 3165541
-----+-----
mfx compute, eyex at(mean)
Elasticities after regress
y = Fitted values (predict)
= 2394820.5
-----+-----
variable | ey/ex Std. Err. z P>|z| [ 95% C.I. ] X
-----+-----
rh | 115198 .12191 0.94 0.345 -.123748 .354144 8854.53
```

Fuente: Elaboración propia

Los resultados numéricos que arroja el modelo lineal escogido permiten primero precisar de acuerdo con la unidad de medida establecida para cada serie de datos modelada, que 1 milímetro de agua lluvia regulada por el bosque alto denso de tierra firme produce \$ 31,15 de ingreso agrícola aproximadamente (tabla 19, regress $ing_agric - rh$: dato resaltado con azul). Debido a la funcionalidad directa que existe entre estas dos variables, esa relación también puede explicarse como el monto de dinero que deja de percibirse si esta cantidad de recurso hídrico no lo regula dicho ecosistema natural. Vale la pena mencionar que esta estimación econométrica puede convertirse a unidades mayores conservando su contexto interpretativo; en otros términos, es factible decir que 256,4 milímetros de agua regulados por 1 hectárea de bosque generan \$ 7.987 de ingreso agrícola, o caso contrario, que la potencial pérdida total de ese servicio ecosistémico reduce en una cantidad equivalente esta clase específica de recursos económicos.

De otro lado, con el cálculo de la elasticidad $\partial y/\partial x$ a partir de los resultados arrojados por la regresión del modelo lineal escogido ($ing_agric = \beta_0 + \beta_1rh + \mu$) se estableció el efecto total existente entre estas dos variables, es decir, en qué tanto por ciento puede disminuir el ingreso agrícola si el servicio ambiental de regulación del agua lluvia es reducido en una unidad porcentual (tabla 19 – dato resaltado en amarillo). Concretamente, la elasticidad estimada permite precisar que en la zona de estudio delimitada para el departamento del Guaviare, el flujo de recursos económicos originados por la actividad agrícola decrece en promedio 11,5 % cuando la función reguladora del agua disminuye 1 %. Como esto es una elasticidad, entonces su magnitud relativa funcionará como una constante (11,5 %) sin importar que se pierda el 1 % de un 1 milímetro, un litro o incluso de toda el agua lluvia regulada.

Considerando que ya fueron calculadas las elasticidades correspondientes a las relaciones funcionales $rh - abq$ e $ing_agric - rh$, el cruce de sus resultados (multiplicación) permitirá finalmente establecer una aproximación del cambio que puede experimentar la variable ingre-



so si sufre alguna variación la superficie cubierta en bosque. En este orden de ideas, el producto de la operación $0,930958 \times 0,115198$ deja establecer que el ingreso agrícola se reduce en 10,7 % aproximadamente cuando el área boscosa disminuye en 100 %, (tabla 20). Dicha medida de daño representará el valor económico que se le puede imputar al bosque alto denso de tierra firme vía ingreso, dada la caída de productividad agrícola¹⁴ que causa la pérdida total de este ecosistema natural y su función reguladora de agua lluvia.

Tabla 20. Cálculo de la elasticidad cuando la *rh* y el *abq* tienden a cero

| | |
|--|--|
| <pre>generate rh1 =rh-(rh*0.99) regress ing_agric rh1 mfx compute, eyex at(mean) Elasticities after regress y = Fitted values (predict) = 2394820.5 ----- variable ey/ex Std. Err. z P> z [95% C.I.] X -----+----- rh1 .115198 .12191 0.94 0.345 -.123748 .354144 88.5453</pre> | <p>Se establece que esa pérdida del ingreso (10,7 %) se da por una disminución del 100 % del área en bosque, dado que el valor de la elasticidad se mantiene constante cuando la <i>rh</i> y el <i>abq</i> tiende a cero (valores resaltados con color amarillo y verde)</p> |
| <pre>generate abq1= abq-(abq*0.99) regress rh abq1 mfx compute, eyex at(mean) Elasticities after regress y = Fitted values (predict) = 8865.2512 ----- variable ey/ex Std. Err. z P> z [95% C.I.] X -----+----- abq1 .930958 .00938 99.22 0.000 .912569 .949347 3239.83</pre> | |

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de hacer más explícita la magnitud del monto relativo que se le imputa al bosque por la provisión del servicio ambiental de regulación hídrica vía pérdida de ingreso monetario, a continuación se presenta un ejemplo ilustrativo del valor presente para este daño económico, partiendo de un flujo de fondos futuros que ayuda a entender cuánto se dejaría de recibir efectivamente por no contar con dicha función reguladora.

Considerando lo anterior, para calcular el valor presente (VP) se utilizó como referente de análisis el SMM del año 2017 (\$ 737.717), siendo su cuantía la que se proyecta desde el año 1 hasta el 20, se aumenta primero con el IPC promedio del periodo 2010 – 2016 (3,92¹⁵); y se disminuye después en el porcentaje correspondiente a la reducción sufrida por el ingreso agrícola (10,7 %). La tasa de descuento empleada es el 8 %, y el resultado de esta estimación realizada se presenta en la tabla 21.

¹⁴ El agua es un insumo esencial en la actividad agrícola, sin su provisión no sería posible producir y llevar al mercado este tipo de bienes.

¹⁵ Este dato se tiene al promediar la siguiente información generada por el DANE: 3.17 (2010), 3.73 (2011), 2.44 (2012), 2.94 (2013), 3.66 (2014), 6.77 (2015) y 5.75 (2016).

Tabla 21. Valor presente (VP) de la pérdida de ingreso agrícola por la reducción del área en bosque y el servicio ambiental de regulación hídrica

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo de caja (SMM) | 658781,3 | 684605,5 | 711442,0 | 739330,6 | 768312,3 | 798430,2 | 829728,6 | 862254,0 | 896054,4 | 931179,7 | 967681,9 |
| Factor descuento | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| Valor presente | 609982,7 | 586938,9 | 564765,6 | 543430,0 | 522900,5 | 503146,4 | 484138,7 | 465849,0 | 448250,3 | 431316,4 | 415022,2 |
| VP 20 años | 8.671.987 | | | | | | | | | | |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Tasa descuento | Suma |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| 967681,9 | 1005615,1 | 1045035,2 | 1086000,6 | 1128571,8 | 1172811,8 | 128786,0 | 1266562,4 | 1316211,7 | 1316211,7 | 8% | 19.455.202 |
| 0,43 | 0,40 | 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | | |
| 415022,2 | 415022,2 | 399343,6 | 384257,3 | 369740,9 | 355772,9 | 342332,6 | 329400,0 | 316956,0 | 293460,6 | | |

Fuente: Elaboración propia

El anterior cálculo del VP (tabla 21), lleva a concluir que el valor económico a ser imputado a partir del uso del concepto ingreso (como una proxy) al servicio ambiental de regulación del agua lluvia, por parte de quienes tienen la tenencia de la tierra donde se ubican los relictos de bosque alto denso de tierra firme en el área de estudio es \$ 10.783.215, esto porque corresponde a la diferencia entre lo que podría recibirse en términos de SMM durante un lapso de 20 años si conservan la cobertura boscosa donde se regula agua lluvia (\$ 19.455.202), y lo que probablemente recibirían (\$8.671.987) si la deforestan con el único fin de continuar ensanchando la frontera agrícola.

Conclusiones

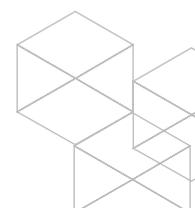
En el contexto de la valoración económica del servicio de almacenamiento de carbono, 1 tCO₂e almacenada en la biomasa del bosque alto denso de tierra firme en el departamento del Guaviare vale en promedio, a precios del mercado voluntario de carbono forestal, 4,6 dólares lo cual es equiparable a \$ 14.242, siendo a su vez estos dos valores monetarios iguales a 1 certificado de emisiones reducidas, CER, emitido y verificado.

El cálculo del valor presente, permite establecer con claridad que el valor económico a ser asignado a partir

del uso del concepto de ingreso (como proxy) al servicio ambiental de almacenamiento de carbono, por parte de quienes tienen la tenencia de la tierra donde están los relictos de bosque en el área de estudio es 1.874.270 pesos/hectárea durante un periodo de 20 años, así mismo, los cálculos para los precios que corresponden a 4,60 y 6,35 dólares son 3.025.138 y 4.176.006 pesos/hectárea en 20 años respectivamente.

Es importante tener en cuenta que la potencial pérdida del ingreso agropecuario debido a la disminución del servicio ambiental de regulación del agua lluvia, se origina a partir de la deforestación del bosque alto denso de tierra firme con el propósito de ampliar la frontera productiva (agropecuaria). Esos 'egresos', en teoría, deben reducir el bienestar individual de quienes tienen la tenencia de la tierra donde se halla localizada esta particular tipología de bosque, dado que reducen su poder adquisitivo proporcionalmente al monto de los recursos monetarios perdidos por no poder tener el agua lluvia que es regulada por la cobertura forestal (ganadería: \$ 9.539.490/ha/20 años, y agricultura: \$ 10.783.215/ha/20 años).

Este último cálculo, aunque conceptualmente es un egreso, con quienes tienen la tenencia de la tierra donde se



hallan localizados los bosques puede ser usado como una referencia válida para valorar, por parte de dichos actores, la importancia de conservarlos en razón a los recursos monetarios que este ecosistema les ayuda a no perder. Es esencial señalar que el ingreso es la variable usada para proyectar, en escenarios de 20 años, la potencial pérdida financiera sufrida por los productores agropecuarios considerando que el recurso agua, como otro insumo para la producción, reduce su disponibilidad por la afectación causada al servicio regulador que presta el bosque. Esta proyección permitió precisar, cómo cambian magnitudes y/o órdenes en la actual estructura de ingresos que

presenta cada uno de los nueve sistemas productivos tipificados por el Instituto SINCHI (2015) dentro del estrato de tierra firme con intervención alta, media y baja.

Con el desarrollo práctico de una función dosis – respuesta se pudo estimar la proxy del valor económico que se le imputó al bosque en términos de regulación del agua lluvia, siendo el referente de análisis el dato arrojado por una elasticidad que permite establecer la relación porcentual entre la variación del área boscosa con la variación del ingreso tanto agrícola como ganadero.

Bibliografía

Azqueta, D. (1994). *Valoración económico de la calidad ambiental*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.

Banco de la República. Serie Tasa de cambio (pesos/dólar)

Duque V. A., Pardo, M. P. & Rubiano D. J. (2014). *Compensaciones de gases efecto invernadero (GEI) en paisajes cafeteros de Colombia*. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros.

Forest Trends, Ecosystem Marketplace. State of the Voluntary Carbon Markets 2016

Forest Trends, Ecosystem Marketplace. State of Forest Carbon Finance 2015

Forest Trends, Ecosystem Marketplace. State of Forest Carbon Markets 2014

Forest Trends, Ecosystem Marketplace. State of Forest Carbon Markets 2012

Forest Trends, Ecosystem Marketplace. Estado del mercado de carbono forestal 2011

Freeman, A. M. (1993). *The Measurement of Environmental and Resource Values. Theory and Methods*. Resources for the Future – RFF PRESS.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Bogotá: IDEAM

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. Protocolo para la certificación de programas de compensación.

Instituto Amazónico de Investigaciones científicas SINCHI. (2016). Proyecto: “Investigación en relictos de bosque como estrategia para generar bienes y servicios ambientales en el departamento del Guaviare”, *Síntesis de la encuesta para la estratificación y tipificación de los sistemas productivos en el área de estudio*. Bogotá: SINCHI.

Instituto Amazónico de Investigaciones científicas SINCHI. Proyecto Relictos. *Servicios asociados al incremento de reservas de carbono en relictos de bosques*. Bogotá: SINCHI .

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. (2012). *Construcción Colectiva de la Estrategia Nacional REDD +*.

Mendieta J. C. (2010). *Manual de valoración económica de bienes no mercadeables*. Bogotá: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico Universidad de los Andes – CEDE.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – UNEP. *Los mercados de carbono forestal*.

Riera, P., García D., Kristron, B. et al. (2005). *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*. Madrid: Editorial Thomson.



12.

Articulación de Instrumentos de Conservación para Enfrentar la Deforestación en la Región del Guaviare, Colombia

Juan David Dueñas Ramírez



Resumen

El presente documento busca contribuir a la comprensión de la deforestación en el Guaviare (Amazonas Noroccidental), a partir de una exploración sistémica de las relaciones de retroalimentación que suceden entre distintos fenómenos que operan a distintas escalas, y que, no obstante, configuran conjuntamente dinámicas que terminan por materializar a nivel de predio y en la mente del productor, la decisión de deforestar como una opción deseable e incluso necesaria, aun cuando se contraponga a la sostenibilidad productiva de su predio. En segundo lugar, se busca ofrecer opciones de política que tomen en cuenta estas consideraciones, el documento presenta diversos instrumentos aplicados alrededor del mundo, susceptibles de articularse en esquemas de política con un gran potencial de mitigar o abordar los principales motores de la deforestación identificados y, por ende, incidir en las cuentas, intereses y perspectivas del productor rural del Guaviare en beneficio de sus medios de vida, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de la misma.

Palabras clave: Colombia, Amazonia, deforestación, instrumentos económicos, instrumentos para la conservación

Introducción

El noroeste de la Amazonia constituye aún hoy en día una de las regiones más remotas e inaccesibles en el planeta. Como bien describió Richard Evans Schultes (1996), famoso explorador y etnobotánico del Siglo XX, la mayoría de los ríos amazónicos colombianos se encuentran salpicados de raudales y caídas de agua que dificultan enormemente su navegación, en contraste con los miles de kilómetros de tramos navegables ininterrumpidos cuyas aguas discurren a lo largo de la cuenca media e inferior del río Amazonas, y que han facilitado allí el comercio y la colonización desde hace siglos.

La región del Guaviare, ubicada al suroriente de Colombia, entre las sabanas naturales de los llanos orientales y las frondosas selvas tropicales del Amazonas, ha servido desde finales del Siglo XIX como frontera porosa a avanzadillas de colonos de diversa procedencia. Su tenacidad y presunción de mejores oportunidades allí

donde el aguante propio es la única restricción, les han permitido abrirse paso entre las selvas en sucesivas olas migratorias, alentadas por auges de economías de frontera que parecen prosperar en ausencia del Estado.

Si en el pasado fue la bonanza del caucho y de las pieles, y posteriormente lo fue la introducción de la hoja de coca y de la marihuana en los años 70, hoy en día el desplazamiento hacia nuevos frentes de colonización en el norte del Amazonas parece estar propiciado, entre otras cosas, por la compra y acaparamiento de tierra con fines especulativos, obligando a familias campesinas a iniciar de nuevo el ciclo de colonización, aprovechamiento de economías de frontera, adecuación del predio, y venta informal del mismo y colonización (Dávalos *et al.*, 2014).

Las lógicas rapaces que trae consigo la informalidad en la tenencia de la tierra, la presencia de economías ilegales, la aún insuficiente presencia del Estado y los vacíos de poder que deja el posconflicto, se conjugan perversamente y se refuerzan entre sí con consecuencias nefastas para la biodiversidad de la región, la cual, en última instancia, constituye el soporte del bienestar y el progreso económico de sus habitantes.

Hoy, los departamentos del Caquetá, Putumayo y Guaviare, puerta a la Amazonia colombiana, constituyen el más activo frente de colonización y expansión de la frontera agrícola en el país, concentrando cerca del 45 %, 18 % y 11 % de toda la deforestación nacional respectivamente (SINCHI y GIZ, 2016). Dicha situación, ha obligado a sus habitantes y a las instituciones del Estado a intentar construir una versión concertada y unificada del desarrollo para su región.

En el 2014 se deforestaron en el Guaviare 6892 hectáreas, equivalentes al 4,1 % de la deforestación total nacional para ese año, cifra que lo ubica como el séptimo departamento con mayor deforestación a nivel nacional (IDEAM, 2015). Para el año 2015, se deforestaron en el Guaviare 9634 hectáreas, lo que supone un aumento del 39,8 % frente al año anterior, y que equivalieron al 7,8 de la deforestación total nacional; En el 2015, el Guaviare fue el cuarto departamento con mayor deforestación, ascendió tres casillas (IDEAM, 2016).



En el 2015, San José del Guaviare fue el tercer municipio del país con mayor deforestación, registró 5447 hectáreas que representan el 56,5 % del total de deforestación departamental y el 4,4 % nacional. En el año 2014 había registrado 4224 hectáreas deforestadas, lo que supone un incremento del 29 % en el año 2015. El municipio presenta una deforestación acumulada del 21 % de su extensión (IDEAM, 2016).

En este contexto, el presente documento busca contribuir a la comprensión de la deforestación en el Guaviare, a partir de una exploración sistémica de las relaciones de retroalimentación que suceden entre distintos fenómenos que operan a diferentes escalas y que, no obstante, configuran conjuntamente dinámicas que terminan por materializar a nivel de predio y en la mente del productor, la decisión de deforestar como una opción deseable e incluso necesaria, aun cuando se contraponga a la sostenibilidad productiva de su predio.

En segundo lugar, se busca ofrecer opciones de política que tomen en cuenta estas consideraciones, el documento presenta diversos instrumentos aplicados alrededor del mundo, susceptibles de articularse en esquemas de política con un gran potencial de mitigar o abordar los principales motores de la deforestación identificados y, por ende, incidir en las cuentas, intereses y perspectivas del productor rural del Guaviare en beneficio de sus medios de vida, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de la misma.

Análisis sistémico de la deforestación en el Guaviare

Estudio de las causas directas y subyacentes de la deforestación

Las causas directas de la deforestación son aquellas actividades humanas o acciones inmediatas a nivel local, como la expansión de la agricultura, la puesta en marcha de proyectos de infraestructura, la minería ilegal o la extracción de maderas que se originan en un uso particular dado a la tierra y que impactan directamente la cobertura vegetal. Por su parte, las causas subyacentes son procesos sociales no siempre evidentes que refuerzan las causas directas y que pueden operar a nivel local o tener un impacto indirecto desde el nivel nacional o global. Las causas subyacentes pueden a menudo clasificarse

en demográficas, económicas, tecnológicas, culturales e institucionales (Geist y Lambin, 2002).

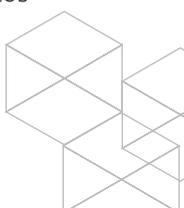
En dinámicas o fenómenos complejos como la deforestación en el Guaviare, no solo hay diferentes causas subyacentes operando, sino que estas interactúan entre sí y con las causas directas para propiciar la transformación en el uso del suelo. El análisis de Helmut Geist y Eric Lambin (2002) revela que en la mayoría de 152 estudios de caso a nivel mundial analizados (78 para Latinoamérica), de tres a cuatro causas subyacentes estaban incidiendo notoriamente en dos o tres causas directas, y en un tercio de todos los casos interactuaban a la vez causas subyacentes de naturaleza económica, institucional, tecnológica, cultural y demográfica que incidían significativamente en la deforestación.

Aun así, el estudio no logró encontrar patrones universales que dieran cuenta de la deforestación a nivel global; en cambio las condiciones específicas de cada sitio y su interacción con dinámicas regionales, nacionales y globales determinan los patrones de deforestación (Geist y Lambin, 2002).

Pensamiento sistémico y diagramas de causalidad como herramienta para comprender fenómenos complejos como la deforestación

El pensamiento sistémico es una disciplina y herramienta que nos permite entender mejor la complejidad, facilita ver patrones de cambio en el tiempo en vez de 'instantáneas' estáticas, y permite a su vez comprender relaciones no evidentes entre variables que se retroalimentan las unas de las otras (Senge, 2012). El pensamiento sistémico resulta particularmente útil a la hora de identificar estrategias o acciones con especial poder de apalancamiento, es decir, nos permite concentrarnos en los problemas u oportunidades de cambio que resultan fundamentales a la hora de resolver la situación problemática, en lugar de pretender atacar todos los problemas y síntomas a la vez.

A continuación, se procurará analizar y sintetizar de manera sistémica las causas directas y subyacentes de naturaleza económica, demográfica, institucional, tecnológica y cultural que promueven la deforestación en el Guaviare. Para facilitar el análisis, se acudirá al uso de diagramas de causalidad que recogerán los elementos



claves del sistema y que mediante flechas reflejarán relaciones de causalidad entre estos.

Con el fin de facilitar su explicación, se analizará en primer lugar la dinámica de migración hacia la Zona de Reserva Forestal, que constituye uno de las principales causas subyacentes de deforestación en el Guaviare. En segundo lugar, se analizará la dinámica de deforestación a nivel de predio en zonas boscosas de baja intervención en donde predominan agricultores con y sin cultivos de coca, y, por último, se expondrá la dinámica de deforestación en zonas de media y alta intervención, ya consolidadas con economías legales, primordialmente ganadería. Naturalmente estas dinámicas se encuentran inexorablemente interconectadas.

Dinámica de migración poblacional hacia la Zona de Reserva Forestal – ZRF y sus consecuencias en la deforestación del Guaviare.

Como se puede observar en la figura 1, la migración de colonos a la ZRF se ve directamente motivada por la oportunidad que representa la disponibilidad local de mercados de economías ilegales, en particular de hoja de coca fresca y de pasta básica de cocaína; esta motivación se hace especialmente fuerte en un contexto en donde el empleo rural es marginal y escaso, por cuenta de los bajos requerimientos de mano de obra que tiene la ganadería extensiva (World Bank, 2002), dominante en la región. Las actividades ilícitas les permiten a los colonos obtener rentabilidades superiores a las de otras actividades productivas, y tal vez más importante, les otorga liquidez (Municipio de San José del Guaviare, Plan Básico de Ordenamiento Territorial). Así mismo, los campesinos se ven atraídos a las ZRF por su naturaleza remota, y la consecuente ausencia del Estado que facilita la ocupación del territorio y el aprovechamiento de estas economías (IDEAM, 2016). Una vez instalados en la ZRF, los colonos proceden a deforestar el terreno para establecer cultivos de pancoger y de coca, típicos durante los primeros años a medida que son reemplazados por pasturas (Armenteras, Dolors et al., 2013; Dávalos et al., 2014).

La caída en productividad por la degradación de los frágiles suelos, y la falta de capital y de tecnologías adecuadas para explotar tierras de frontera agrícola sostenidamente en el tiempo, a menudo terminan por presionar a los pequeños agricultores a vender sus tie-

rras a otros productores y a terratenientes (World Bank, 2002). Si bien la comercialización de tierras está prohibida al interior de las ZRF, hasta tanto dicha área no haya sido formalmente sustraída, la expectativa de que eso suceda en el futuro cercano y la presencia de mercados informales de tierras, le permiten al campesino vender el predio despejado y ‘trabajado’ a cualquier interesado (Reyes, 2016). Por lo general, las partes involucradas inscriben en notaría el traspaso con el fin de fortalecer su reclamo sobre dicha tierra (Dávalos et al, 2014).

Así, en presencia de mercados informales de tierras, los colonos no demoran en ser contactados por compradores ávidos de hacerse con la posesión del terreno, a menudo terratenientes u otros colonos con poder adquisitivo que especulan con el valor de la tierra; estos buscan comprar tierras a bajo precio y fortalecer su reclamo sobre estas introduciendo alambre de púas y cabezas de ganado, pero su objetivo último es esperar la llegada de infraestructura, servicios públicos, y agentes del mercado, todo lo cual, puede incidir exponencialmente en la valorización de sus predios (Dávalos et al, 2014; Reyes, 2016).

Estas expectativas futuras de lucro mediante el acaparamiento de tierra se han exacerbado ante las perspectivas de mayor seguridad y menor control coercitivo por parte de actores armados, situaciones que se prevé traerá el posconflicto. En efecto, con la guerrilla inactiva localmente y con unas autoridades ambientales sin los suficientes recursos para llevar a cabo su misión, la deforestación aumentó en un 40 % entre el 2014 y el 2015, según cifras del IDEAM (2016).

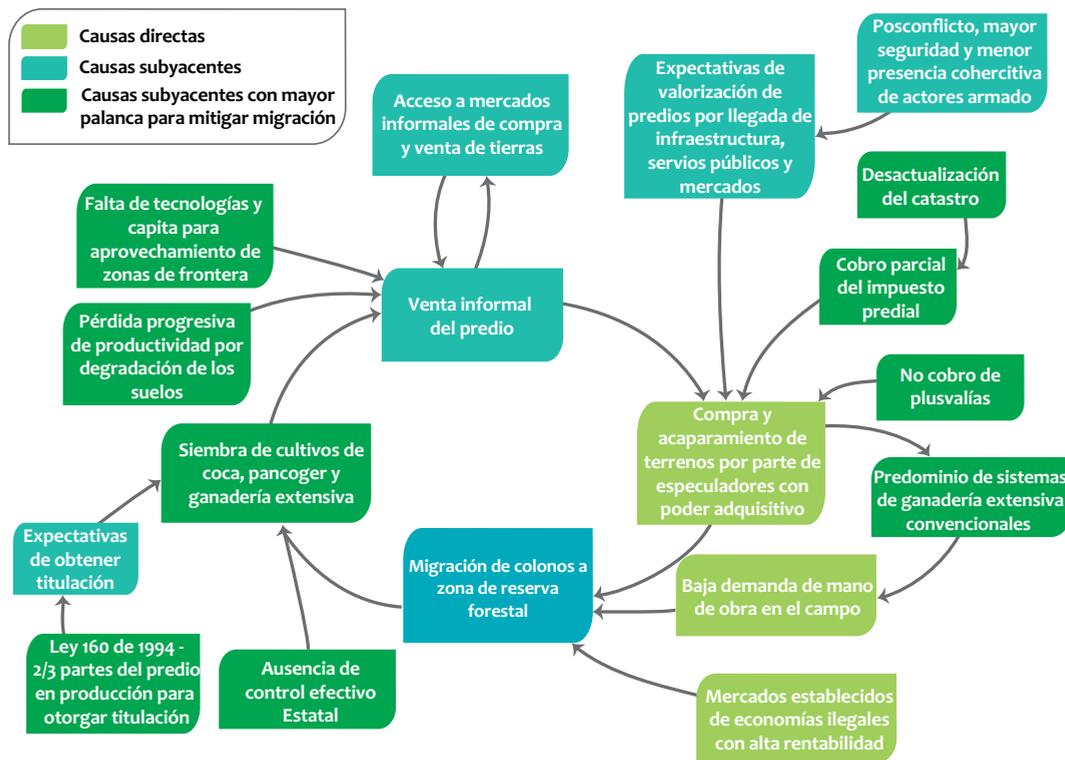
La especulación con el valor de la tierra se ve a su vez reforzada por una serie de factores institucionales que hacen más fácil y rentable acaparar tierras; en efecto, la desactualización del catastro en las áreas de reserva sustraída, al igual que en el resto de Colombia, implica que un propietario de 10 hectáreas pueda llegar a pagar anualmente en impuesto predial una suma irrisoria (Kalmanovitz, 2006). De forma similar, el no cobro de plusvalía a propietarios rurales desconoce el aumento en el valor del predio por cuenta de inversiones públicas. Bajo estas condiciones, no resulta costoso para un especulador acaparar grandes cantidades de tierra sin pagar mayores impuestos por ello, ni verse presionado para ponerlas a producir eficientemente,



más allá de montar sistemas de ganadería extensiva. Esta dinámica de especulación y acaparamiento se refleja en el alto índice de Gini de Tierras, que en el Guaviare es de 0,81 frente al 0,73 nacional (ya uno de los mayores del mundo), y que mostró crecimiento en el periodo evaluado de 10 años (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014; Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (2015). La bajísima densidad de cabezas de ganado por hectárea se debe en parte a esta situación. Por su parte, el hecho de que el pago de impuesto predial per cápita en el Guaviare venga aumentando refleja un creciente valor de la tierra, y por ende un espacio propicio para la especulación (Dávalos et al, 2014).

Así, la compra y acaparamiento de tierras por parte de terratenientes, que por lo general no habitan en el predio, sumado a la inseguridad jurídica en la tenencia de la tierra para pequeños poseedores y el marginal y escaso empleo rural que ofrece la ganadería extensiva, constituyen los principales motores de la migración de campesinos a nuevos frentes de colonización en el Guaviare, dando inicio a un nuevo ciclo de deforestación, instalación, cultivo de coca y pancoger, introducción de pastos, introducción de mejoras al predio, venta del predio en mercados informales y migración hacia un nuevo frente de colonización (Reyes, 2016; González, 2011).

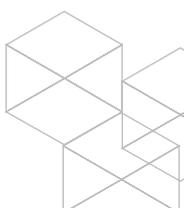
Figura 1. Diagrama de causalidad – Migración poblacional a Zonas de Reserva Forestal



Fuente: Elaboración propia

Dinámica de deforestación en bosques de baja y media intervención

Como se puede observar en la figura 2 y de acuerdo con la dinámica de migración a la ZRF explicada anteriormente, los colonos llegan a la ZRF para aprovechar economías de frontera, incluyendo el cultivo de coca, lo cual supone realizar quema y tala del bosque. Geist y Lambin (2002) han identificado como una de las causas subyacentes de la deforestación a la mentalidad de frontera compartida por muchos colonos, caracterizada por la falta de interés por el entorno natural, llegando a asociar la presencia de monte y selva en una finca con pereza o falta de trabajo. También puede resaltar la falta de identidad y apropiación respecto a la región y un comportamiento orientado al lucro sobre otras consideraciones (Geist & Lambin, 2002).



Por lo general, el colono inicia sembrando cultivos de pancoger y/o de coca durante uno a tres años, y luego, a medida que el suelo se desgasta, reemplaza algunos de estos por pastos que deja crecer durante uno a dos años con el fin de introducir ganado; simultáneamente vuelve abrir bosque para sembrar cultivos de pan coger y de coca (SINCHI y GIZ, 2016). Los datos arrojados en el censo del 2005 mostraban que el 47 % del área cubierta por fincas productoras de coca en el Guaviare y en el Meta estaban cubiertas por pasturas (UNODC, 2006).

Un estudio reciente adelantado en el Guaviare por Dávalos *et al.* (2014) sugiere que la demanda de carne de bovino en el mercado no es un factor preponderante que impulse la proliferación de ganado y la expansión de pasturas en el Guaviare, como ocurre en algunas regiones del Brasil. En efecto, los precios de la carne de bovino en Bogotá fluctuaron considerablemente durante el periodo 2000-2009, siendo el incremento neto de tan solo 8 % después de los 10 años. Así mismo, durante el mismo periodo los ingresos ganaderos en el Guaviare se redujeron en un 70 %. Aun así, a pesar de lo poco atractiva que fue la ganadería en este periodo, al final del mismo todos los municipios del Guaviare tenían mayor porcentaje de área en pasturas y un mayor inventario de cabezas de ganado, este llegó a doblarse en el Retorno, con el consecuente impacto sobre los bosques de la región (Dávalos *et al.*, 2014).

El hecho de que el hato ganadero en el Guaviare se haya expandido considerablemente incluso en épocas de baja rentabilidad, ha encontrado algunas explicaciones. Por un lado, la Ley 135 de 1961, y posteriormente la Ley 160 de 1994, exigen al campesino demostrar que tienen bajo producción económica las (2/3) partes de la superficie cuya adjudicación solicita; para un colono, la manera más práctica y económica de lograr la adjudicación es deforestando, sembrando pastizales y comprando ganado. Esta normativa perversa es en efecto uno de los principales motores de deforestación en el país desde hace décadas.

Por otro lado, el ganado también tiene un alto valor de uso para el colono, incluso si su precio de venta no es atractivo; de hecho, en escenarios de alta inflación y volatilidad como los son las zonas de producción de coca, y ante la ausencia o escasa utilidad de mecanismos formales de ahorro o crédito, para un colono el ganado

representa la posibilidad de ahorrar, invertir de manera relativamente segura (a diferencia de la mayoría de cultivos), y convertir su inversión en dinero en efectivo en cualquier momento que desee mediante la venta del animal. El ganado también puede serle de utilidad al colono a la hora de respaldar la solicitud de un crédito o de una tarjeta de crédito (Dávalos *et al.*, 2014). Con base en lo anterior, si bien el precio del ganado y de la carne parecen no haber sido causas fundamentales del crecimiento del hato ganadero en el Guaviare durante el periodo 2000-2009, los altos precios actuales y previsibles a futuro, amenazan con sumarse como factores significativos de ampliación de pasturas y deforestación en los próximos años, lo que agravaría considerablemente la situación.

La preeminencia de la ganadería extensiva como opción económica más atractiva para los habitantes del Guaviare, con sus graves consecuencias sobre los bosques, también está relacionada con la falta de competitividad de la agricultura y de otras actividades económicas en la región que podrían ser más sostenibles. En efecto, el mal estado de las vías en invierno, época de cosecha para muchos cultivos, imprime un alto riesgo a la actividad agrícola. A su vez, los productores locales son a menudo escépticos sobre el potencial de algunos recursos autóctonos como las frutas silvestres y la acuicultura con especies nativas, a pesar de que cada vez hay más experiencias de comercialización en la región (entrevistas del autor en campo, 2016).

La consecuente proliferación de la ganadería extensiva en el Guaviare tiene considerables impactos en el suelo, como la compactación y pérdida de su estructura, lo que desencadena la alteración en la permeabilidad y por lo tanto una mayor escorrentía y erosión; esto a su vez propicia en el corto plazo la degradación de suelos y de pasturas. Una vez los pastos pierden su calidad y capacidad de alimentar el ganado, el colono comienza a sentir la pérdida de productividad del sistema, viéndose obligado a deforestar nuevos terrenos para la producción ganadera (González, 2011; SINCHI y GIZ, 2016), dando así continuidad al círculo vicioso de adopción de prácticas productivas cortoplacistas – degradación del suelo – pérdida de productividad – presión económica – adopción de prácticas productivas cortoplacistas, que se aprecia en la figura 2.



rollo de otras alternativas productivas, las cuales tienen que competir con productos traídos de Villavicencio a muy bajos precios (Tarazona, 2007).

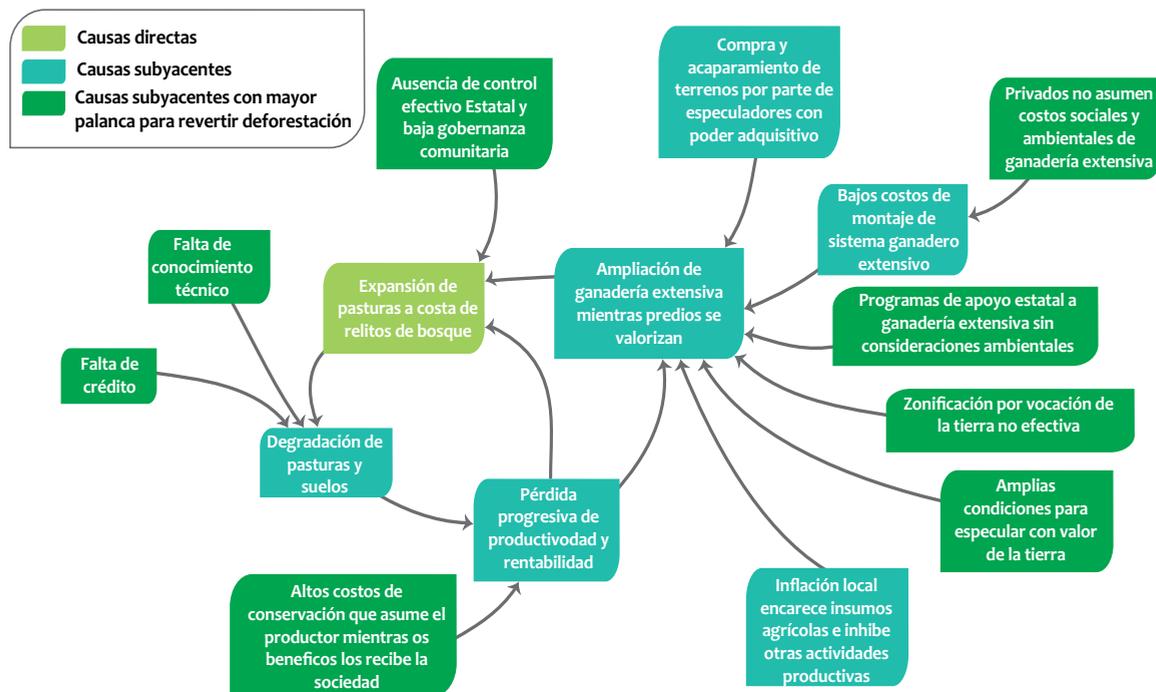
Cabe tener en cuenta que el Estado hasta aún hoy promueve e incentiva a la ganadería extensiva, aunque cada vez menos de forma directa, mediante la entrega de subsidios, líneas de crédito blandas, proyectos de mejoramiento y otros programas que en muchas ocasiones no incluyen consideraciones ambientales relevantes (Dávalos et al., 2014); adicionalmente, los esfuerzos por zonificar e implementar políticas que tienden al uso eficiente de los suelos según su vocación son parte de un proceso incipiente que está lejos de terminar, y que rara vez llega a tener mecanismos efectivos para garantizar su cumplimiento.

Así las cosas, la ganadería tradicional se ha configurado en el uso de la tierra dominante en las áreas altamente intervenidas que han dejado de ser zonas activas de colonización. Si bien constituye un sistema productivo

cómodo para aquellos propietarios cuya principal prioridad es especular con el valor de la tierra, e incluso llega a ser rentable durante varios años, da lugar a un proceso de degradación ambiental a medida que la erosión aumenta, la fertilidad del suelo se agota y las coberturas de pastos aprovechables disminuyen. En adición a las razones culturales que llevan a muchos ganaderos a ‘limpiar’ sus predios de vegetación arbórea, estos factores terminan por presionar al ganadero a reducir aún más los relictos de bosque que quedan en su propiedad, en un intento por recuperar la productividad de la finca (González, 2011), como se puede apreciar en el círculo vicioso dispuesto en la figura 3.

Por otro lado, resulta alarmante la insuficiencia de recursos con que cuentan las autoridades ambientales para realizar monitoreo y control en tan vasto espacio, sobre todo en el escenario actual de posconflicto y en ausencia de los controles y prohibiciones que realizaba la guerrilla de las FARC-EP en materia de deforestación cuando se encontraba activa en la zona.

Figura 3. Diagrama de causalidad – Deforestación en bosques de alta intervención



Fuente: Elaboración propia

Principales causas subyacentes de la deforestación en el Guaviare

Así las cosas, con base en los apartes anteriores y a partir de un análisis sistémico de los diagramas de causalidad expuestos, se pueden tener como principales causas subyacentes de la deforestación en el Guaviare las expuestas en la tabla 1. Si bien fenómenos problemáticos, estas causas subyacentes son, a su vez, de manera discutible, los principales puntos de intervención con mayor poder de palanca para disminuir la deforestación en la zona y como tal deberían ser abordados conjunta y enfáticamente, en oposición a invertir recursos valiosos de manera dispersa, o centrándose en problemáticas sintomáticas y efectos secundarios.

Tabla 1. Principales causas subyacentes de la deforestación en el Guaviare

| Círculo vicioso de prácticas cortoplacistas - degradación del suelo - pérdida de productividad - prácticas cortoplacistas - | Amplias condiciones para acaparar tierra y especular con su valor, obliga a campesinos a reiniciar colonización - adecuación - venta - colonización. | Baja educación financiera y conciencia sobre oportunidades productivas y de inversión más allá de la compra de ganado |
|---|--|---|
| Bajo acceso a técnicas, tecnologías y financiamiento que permitan al campesino aprovechar su tierra y recursos locales sosteniblemente. | | Políticas de desarrollo y leyes de tierras proveen incentivos perversos que promueven la colonización, la deforestación y la ganadería extensiva. |
| Altos costos de conservación para el productor, mientras sociedad recibe los beneficios sin recompensarle. | Privados no asumen costos sociales y ambientales de ganadería extensiva. | Ausencia de control efectivo y baja gobernanza sobre el aprovechamiento de recursos locales y la adquisición de tierras. |

Fuente: Elaboración propia

Articulación de instrumentos de conservación y su potencial para abordar las causas subyacentes de la deforestación en el Guaviare

Instrumentos económicos y de mercado

La conservación de la cobertura vegetal en los sistemas productivos contribuye enormemente a mantener la integridad física y funcional de los ecosistemas y por ende su capacidad para proveer bienestar humano. El conservar o no dicha cobertura y otros atributos ecosistémicos, depende en última instancia, de una decisión individual a nivel de predio que parte por tomar en consideración los beneficios y costos percibidos de dar un determinado uso a la tierra. Desafortunadamente, en nuestro país y en la mayoría de mercados mundiales, son relativamente pocos los servicios prestados por los ecosistemas que cuentan con un precio, son comercializables y por ende entran en el conjunto de consideraciones de cualquier productor agropecuario (Tietenberg & Lewis, 2011).

A esto se añade nuestro sesgo a otorgar un mayor valor a aquellos beneficios que recibimos en el presente frente a los obtengamos en el futuro, especialmente si las necesidades del hoy son apremiantes, como es el caso en la mayoría de hogares rurales. Como conse-

cuencia de estas dos particularidades, hoy en nuestra economía se llega a valorar desproporcionadamente aquellos usos extractivos del ecosistema que maximizan los beneficios en el presente y que son fácilmente intercambiables en el mercado, mientras se ignoran toda una serie de servicios económicamente valiosos que prestan los ecosistemas y que brindan soporte a la vida y bienestar humano. Tal desconocimiento conlleva a la pérdida progresiva de un capital oculto de gran valor para el productor y para la sociedad.

Con el fin de mitigar esta situación, se viene aplicando con creciente regularidad, algunos instrumentos para la gestión ambiental que buscan crear mercados y asignar precios y otras señales de mercado a esos servicios ambientales de alto valor para la sociedad que el productor a menudo desconoce, para otorgarle a este mayores razones para tener en cuenta su conservación. En la siguiente tabla se pueden apreciar una amplia variedad de instrumentos económicos y de mercado aplicados alrededor del mundo, con potencial de aplicarse en el Guaviare.

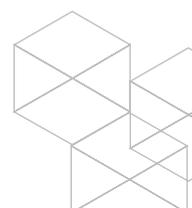


Tabla 2. Instrumentos económicos y de mercado aplicados o con potencial de aplicarse en el Guaviare

| Pago por servicios ambientales (PSA) de biodiversidad y carbono en sistemas ganaderos | Mercados de carbono voluntarios para proyectos de REDD+ y de Reforestación | Mecanismo de ahorro e inversión para desincentivar compra de ganado | Cadenas de valor sostenibles |
|---|---|--|---|
| Pago por servicios ambientales (PSA) a escala de paisaje | Proyectos de reforestación en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio -MDL- del Protocolo de Kioto. | Cadenas de valor sostenibles | Compensaciones por pérdida de biodiversidad |
| Contrato de mutuo (crédito) con cláusula de condición resolutoria | Tasas compensatorias como desincentivo para usos del suelo no compatibles con su vocación | Certificado de Incentivo Forestal para la Reforestación – CIFr | Impuesto Predial Diferencial |
| Reducción de emisiones por deforestación y degradación evitadas en bosques (REDD+) a través de canales fuera del mercado – Visión Amazonia y Programa REM | | Derivados forestales como fuente temprana de ingresos para promover la producción forestal familiar. | |

Fuente: Elaboración propia

Instrumentos de asignación de derechos de propiedad

Casi 50 años han transcurrido desde que Garret Hardin publicó su influyente artículo, *La tragedia de los comunes*. En este, Hardin argumentaba que el usuario de recursos comunes demanda dichos recursos hasta que los beneficios esperados equivalgan a los costos esperados de aprovecharlos. No obstante, debido a que cada usuario ignora los costos que sus acciones imponen en los demás, las acciones individuales se acumulan y derivan en un trágico uso desmedido y posible destrucción del recurso. Las soluciones propuestas por Hardin fueron alternativamente privatizar el bien (por ejemplo parcelar una sabana y entregar su propiedad a privados), o hacerlo público (por ejemplo mediante la creación de parques naturales nacionales), de manera que el recurso tuviera un doliente que le sacara provecho y tuviera los incentivos apropiados por administrarlo e invertir en él, en lugar de sobrexplotarlo.

Varias décadas después, Elinor Ostrom demostró que cada recurso común planteaba retos diferentes, y bajo ciertas circunstancias, los sistemas de propiedad colectiva o comunitaria y tradicional permitían una gestión más efectiva del recurso común que la propiedad estatal o privada (Hardin, 1968).

En este sentido, la gestión efectiva y sostenible de recursos comunes parte tanto de restringir el acceso al recurso, como de crear los incentivos necesarios para que los usuarios inviertan en su aprovechamiento sostenible y conservación. Esto último se logra a menudo otorgándoles a los usuarios diferentes derechos aso-

ciados a la propiedad del bien, que los beneficie de diferentes maneras; estos derechos pueden ser el acceso, el manejo, el usufructo y la exclusión y/o la capacidad enajenación sobre el recurso (Schlager & Ostrom, 1992).

Además de restringir el acceso a recursos comunes y otorgar incentivos para su uso sostenible, los instrumentos de asignación de derechos de propiedad permiten distribuir responsabilidades y beneficios entre las partes según su idoneidad, otorgar formalidad a acuerdos logrados, y otorgar mayores garantías de cumplimiento tanto a patrocinadores como a productores. La tabla 3 contiene algunos instrumentos con potencial de aplicarse en el Guaviare.

Tabla 3. Instrumentos de asignación de derechos de propiedad aplicados o con potencial de aplicarse en el Guaviare

| Acuerdos de conservación | Contrato de arrendamiento con cláusula de conservación | Titulación por conservación |
|--------------------------|--|-----------------------------------|
| Servidumbre ecológica | Compraventa de predios condicionada | Zonas de Reserva Campesinas -ZRC- |

Fuente: Elaboración propia

Instrumentos de soporte

Por otro lado, existen instrumentos de soporte destinados a permitir, facilitar o potenciar la implementación de instrumentos económicos y de mercado, al igual que de instrumentos para la asignación de derechos de propiedad. Entre estos, se consideran los siguientes para su

aplicación en el Guaviare; estos instrumentos están desarrollados a profundidad en el documento técnico del Instituto SINCHI que da lugar al presente artículo: *Propuesta técnica de incentivos y otros instrumentos para la conservación en el Guaviare*.

Tabla 4. Instrumentos de soporte aplicados o con potencial de aplicarse en el Guaviare

| | | |
|--|--|---|
| Presión Social Diseñada: 'la infracción de unos pone en riesgo los beneficios de todos'. | Eco-certificado, sistemas de garantías participativos, y certificación territorial | 'La lista negra' que penaliza a grandes infractores mediante su exclusión de crédito, programas de desarrollo, etc. |
| Plan Predial de Reconversión Productiva - PPRP | Prestigio público como incentivo | Fondo de Garantías Agropecuario - FAG |

Fuente: Elaboración propia

Esquemas de integración de instrumentos

Naturalmente, esta variedad de instrumentos cobra aún más valor en la medida en que se comprenda la sinergia que resulta de su integración y uso combinado en soporte de procesos de reconversión productiva y conservación como los pretendidos en el Guaviare. Como veremos en el presente documento, diversos instrumentos son susceptibles de articularse coherentemente en torno a objetivos específicos, cada uno cumpliendo una función estructurante, o alternativamente, de soporte.

Los esquemas de incentivos e instrumentos para la conservación desarrollados se han propuesto específicamente para la zona rural del departamento del Guaviare, situada en los municipios de San José, El Retorno y Calamar. Aun así, tanto la metodología para plantear los arreglos de incentivos e instrumentos como su propuesta de implementación, podrán ser útiles para otras regiones del país con prioridades de conservación similares, siempre que se tome en consideración su adaptación a las condiciones locales particulares.

Esquema de instrumentos para reducir la migración de colonos hacia las Zonas de Reserva Forestal

Como muestra la figura 1, existen varias causas subyacentes que refuerzan la migración de colonos a ZRF y por lo tanto una mayor deforestación; entre las diversas acciones de política pública que pueden implementarse

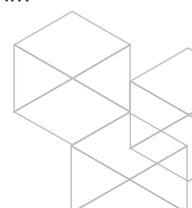
localmente y que resultan fundamentales para revertir la situación, están aquellas dirigidas a brindar al productor la tenencia segura de su predio, y de manera igualmente importante, facilitarle el uso sostenible y provechoso del mismo, de manera que la degradación del suelo y la consecuente pérdida de productividad que generan las malas prácticas agrícolas no obliguen a los productores a vender su predio para reiniciar el ciclo de colonización.

Más aún, la expectativa de obtener titulación formal puede utilizarse como incentivo para la adopción de mejores prácticas y usos del suelo, en lo que constituiría un instrumento de 'titulación por conservación'. Existe entonces la posibilidad de apoyar a las familias que no cuentan con titulación y que se encuentran en posesión de predios adjudicables, con la elaboración de *planes de reconversión productiva* que exige la ley en ciertas circunstancias como requisito para otorgar la titulación. Los recientes programas de titulación masiva y una mejor coordinación entre la Agencia Nacional de Tierras y las autoridades ambientales pueden escalar significativamente este instrumento.

En efecto, a finales del año 2017, el Ministerio de Ambiente se encontraba próximo a radicar en el Congreso de la República de Colombia el Proyecto de Ley de Zonas de Reserva Forestal que contiene a esta como una de sus propuestas, al contemplar pequeñas titulaciones a comunidades campesinas en zonas de reserva forestal sin necesidad de hacer sustracción, siempre y cuando se garantice el uso sostenible del predio (Minambiente, 2017).

Resultan importantes también los esfuerzos del Instituto SINCHI y de otras autoridades por facilitar la implementación y difusión de sistemas productivos mixtos y semi-intensivos, que son más sostenibles y rentables que la ganadería tradicional; estos sistemas a su vez se caracterizan por tener mayores requerimientos de mano de obra que los de ganadería extensiva, lo cual contribuye a mejorar las perspectivas de emplearse localmente o vender el jornal a fincas vecinas, reduciendo así los motivos que tienen actualmente los pobladores para lanzarse como colonos en busca de nuevas oportunidades.

Aun así, es fundamental abordar causas subyacentes de la migración a las zonas de frontera agrícola que operan a nivel nacional, y que pueden ser lo suficiente signifi-



cativas como para restar importancia a cualquier otro esfuerzo por reducir la deforestación. En efecto, las condiciones institucionales que hacen propicia la compra y acaparamiento de tierras por parte de diversos actores que especulan con su valor, continuamente alimentan la migración de campesinos a las zonas de frontera agrícola en su renovada calidad de colonos. Algunas medidas concretas que deben tomarse a nivel nacional tendrían un poder inmenso de apalancamiento al eliminar los incentivos que actualmente tienen los especuladores para acaparar tierras, como se observa en la figura 1.

En este sentido, tal como propone la Reforma Rural Integral negociada en la Habana, la actualización del catastro permitiría a las autoridades municipales aplicar el cobro del predial por un valor que realmente refleje el valor del predio. Esto supondría una carga fiscal considerable para cualquier agente que acaparase tierras con el fin de especular en el tiempo, sin darles un uso productivo y eficiente.

No obstante, la actualización y cobro efectivo del impuesto predial, si bien necesaria para desincentivar el acaparamiento de tierra, puede constituirse en un arma de doble filo que propicie más deforestación, en la medida en que ahora resulte costoso para los propietarios mantener tierras sin aprovechar económicamente. En respuesta a la necesidad de cobrar una tarifa adecuada de impuesto predial, pero a su vez de no propiciar mayor deforestación, sino en cambio de revertirla, numerosos concejos municipales, atendiendo a las facultades que les otorga la ley, han decidido exonerar parcial o totalmente del pago de impuesto predial a los propietarios que conserven y establezcan coberturas arbóreas, en lo que constituye un claro instrumento de conservación, comúnmente conocido como *impuesto predial diferencial para la conservación*.

Por otro lado, el apoyo político y financiero a las *Zonas de Reserva Campesina*, como un instrumento explícitamente llamado a evitar el acaparamiento de tierra, la venta forzosa, y propiciar la economía campesina, resulta fundamental. En efecto, las ZRC constituyen una herramienta fundamental en la estabilización de la frontera agrícola y en el propósito de sustraer el componente de pobreza que subyace a la ampliación de la misma; así mismo, las ZRC ayudan a enfrentar la concentración de

tierra y la consecuente migración o desplazamiento de nuevos colonos a Zonas de Reserva Forestal.

Este reconocimiento ha sido hecho en el marco del *Acuerdo final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera*, en donde se asigna a las ZRC el objetivo de promover la economía campesina, contribuir al cierre de la frontera agrícola, aportar a la producción de alimentos y a la protección de las Zonas de Reserva Forestal y se les establece como un instrumento central de la Reforma Rural Integral.

Tabla No. 5. Instrumentos y su funcionalidad complementaria para reducir la migración de colonos hacia las Zonas de Reserva Forestal

| Función | Instrumento |
|---|---|
| Brindar tenencia segura de su predio, e incentivar el uso sostenible y provechoso del mismo | Titulación por conservación |
| Guiar el proceso de reconversión productiva en el predio | Plan predial de reconversión productiva |
| Desincentivar acaparamiento de tierras | Actualización del catastro y tarifa de impuesto predial relevante |
| Eliminar incentivos perversos de política e incentivar la conservación a nivel de predio | Impuesto predial diferencial |
| Estabilizar el contexto local, evitar acaparamiento de tierras y reducir colonización | Zonas de Reserva Campesina |

Fuente: Elaboración propia

Esquema de instrumentos para la reconversión productiva hacia usos y prácticas más sostenibles

Con base en lo ya desarrollado y como se puede apreciar en las figuras 2 y 3, existen varias posibles intervenciones con gran capacidad de palanca para revertir causas subyacentes de la deforestación en los bosques del Guaviare. En ambas gráficas se aprecia una dinámica de retroalimentación o círculo vicioso que incide constantemente en los colonos para que estos se vean presionados a ampliar la frontera agrícola y en campesinos establecidos en bosques de media y alta intervención para eliminar más y más relictos de bosque en sus predios. Este círculo vicioso inicia con la adopción por parte del productor de una variedad de prácticas tendientes a lograr aumentos de productividad en el corto plazo, a expensas de la sostenibilidad productiva de la finca en el tiempo.

Entre estas, la principal es talar los bosques para establecer ganadería extensiva en suelos de aptitud forestal, lo cual conlleva a la compactación progresiva del suelo y a la pérdida de nutrientes por escorrentía y erosión. Con el tiempo, los cultivos y la actividad ganadera pierden productividad, y el campesino se ve obligado a talar más bosque para ampliar las zonas productivas ganadera (González, 2011; SINCHI y GIZ, 2016).

En particular, el esquema propuesto está estructurado en torno a dos instrumentos principales: i) Un pago por servicios ambientales -PSA- de carbono y biodiversidad adaptado a partir de las experiencias exitosas del proyecto RISEMP, adelantado por el GEF en Costa Rica, Nicaragua y Colombia; y ii) La estructuración de cadenas de valor sostenibles a partir de productos locales. A su vez, consta de instrumentos de soporte que permiten, facilitan o potencian su implementación, como los acuerdos de conservación, las servidumbres ecológicas, los planes prediales de reconversión productiva, contratos de mutuo (crédito) con cláusula condicional de conservación y derivados forestales.

Mediante los instrumentos articulados, el esquema busca abordar algunas de las causas subyacentes de la deforestación en predios, en particular i) ampliar el acceso a técnicas, tecnologías y financiamiento que permitan al campesino provechar su tierra y recursos locales de manera sostenible; ii) disminuir la inequidad en la distribución de los costos y beneficios de la conservación, siendo los primeros mayormente asumidos por los productores y los segundos por la sociedad; y iii) mejorar la gobernanza y el control sobre el aprovechamiento de los recursos naturales locales, principalmente mediante instrumentos de soporte como los acuerdos de conservación y las servidumbres ecológicas.

El PSA aplicado en la mayoría de contextos, a menudo tiene como fines más inmediatos el retribuir la provisión de servicios ambientales y aumentar el valor que tienen los bosques para las familias vinculadas. No obstante, puede ser también un instrumento que permita a la familia financiar su propia reconversión productiva con los pagos que ofrece. En este sentido, de manera similar a un crédito tradicional, el PSA puede ofrecer liquidez para iniciar las inversiones, pero a diferencia del primero, el PSA tiene la ventaja de que realiza desembolsos controladamente

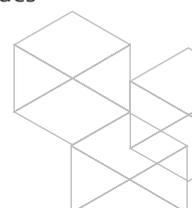
solo cuando se ha verificado el efectivo cumplimiento por parte de la familia vinculada de sus compromisos.

Lo más probable es que el PSA reciba financiación del Estado colombiano y de otros gobiernos que, en representación de los habitantes de su país y de la comunidad internacional en general, están dispuestos a pagar por los servicios ambientales de biodiversidad, y captura y retención de carbono. Esta financiación sería canalizada principalmente a través de los mecanismos dispuestos por el programa Visión Amazonia, que en realidad constituye un esquema de REDD+ internacional por fuera del mercado.

A su vez, el PSA puede recibir financiación de un proyecto paralelo de compensaciones por pérdida de biodiversidad a ser presentado ante la ANLA y la CDA, el cual puede captar recursos financieros antes de que se tengan resultados positivos verificables; esto supone una ventaja considerable en la financiación de proyectos o iniciativas incipientes.

Por otro lado, son notables las ventajas de asociar un PSA con la aplicación de servidumbres ecológicas a nivel de predio, en la medida en que este constituye un contrato que otorga garantías de cumplimiento de los compromisos adquiridos y permite limitar los usos dados al predio y las prácticas implementadas, incluso a perpetuidad, y aún en la eventualidad de que el predio cambie de dueño. Cabe aclarar que tan sólo los propietarios con titulación formal sobre el predio podrán suscribir una servidumbre. Esta podrá ser reemplazada por un acuerdo de conservación con las familias que no tengan pleno dominio sobre su predio.

Naturalmente, las condiciones que se establezcan en la servidumbre deberán negociarse con los dueños de los predios y su motivación para suscribir una servidumbre ecológica útil y duradera dependerá de los incentivos y facilidades provistas por el PSA, pero sobre todo, de las perspectivas reales de desarrollo sostenible y mejora de la calidad de vida que les ofrezca la reconversión productiva. En ese orden de ideas, con el fin de fortalecer el vínculo entre sostenibilidad ambiental y provecho económico, resulta propicio anclar el PSA con el desarrollo de cadenas de valor con productos locales. En efecto, se puede acordar que los pagos realizados por el PSA se inviertan total o parcialmente en construir capacidades



productivas, logísticas y comerciales que les permitan a las familias vinculadas sacar el mayor provecho de la reconversión productiva.

Las cadenas de valor a desarrollar podrían comprender, pero no limitarse, a las de productos forestales maderables y no maderables. En este sentido, podría considerarse actividades productivas como la acuicultura artesanal, que ya acontecen en la región, que han tenido éxito en su implementación y que han permitido a los campesinos diversificar sus ingresos y ser menos dependientes de la ganadería extensiva. El desarrollo de nuevos negocios les permitiría a las familias también tener otros destinos de inversión alternativos a la compra de ganado, con el efecto que esta última actividad tiene en la expansión del hato ganadero y en la ampliación de las pasturas a expensas del bosque.

De requerir más recursos para facilitar la reconversión productiva, se puede recurrir al otorgamiento de crédito a las familias mediante contratos de mutuo u otros medios. Un contrato de mutuo puede convertirse a su vez en un incentivo para la conservación si se incluye una cláusula de condición resolutoria que prevea la posibilidad de condonar la deuda parcial o totalmente, si la familia vinculada ha cumplido con todos sus compromisos.

El desarrollo de cadenas de valor puede valerse de un plan predial de reconversión productiva que sería implementado en cada predio vinculado, con la asistencia técnica y extensión rural y conforme a sus criterios de producción sostenible y viabilidad comercial. Con el fin de potenciar estos planes prediales y generar buenos hábitos de ahorro e inversión en las familias vinculadas, sería de utilidad la implementación de un mecanismo de ahorro e inversión (Ver aparte 3.2.15) que permita destinar recursos propios de la familia a su inserción en las cadenas de valor sostenibles y en la reconversión productiva.

La educación financiera, el otorgamiento de líneas blandas de crédito con cláusulas ambientales, la apertura de mecanismos de ahorro programados, y otros servicios financieros para las familias campesinas también pueden ser útiles a la hora de reducir uno de los mayores incentivos que tienen actualmente los campesinos para comprar ganado, pues como se observa en la figura 2, este activo es actualmente su única fuente

relativamente segura de liquidez, ahorro e inversión. Por otro lado, debe ser un propósito de las autoridades el impulsar actividades económicas más sostenibles y rentables que la ganadería extensiva en el Guaviare, que hacen mejor uso de los recursos locales, ocupan menos espacio, implican una menor perturbación de los ecosistemas, generan mayor empleo y mejoran la calidad de vida rural.

Naturalmente, los suelos del Guaviare son primordialmente de vocación forestal, y las políticas de desarrollo local deberían estar orientadas a privilegiar ese uso del suelo sobre los demás; en ese sentido, resulta fundamental resolver los cuellos de botella que representan la escasa financiación de largo plazo disponible para el sector forestal en el país, especialmente para pequeños productores. Si bien se vienen haciendo esfuerzos importantes en este sentido a través de FINAGRO, se requiere un mayor grado de innovación para establecer la reforestación comercial en el Guaviare, en particular, formas alternativas de financiar la actividad forestal, y también de satisfacer las necesidades de liquidez y consumo que tienen los pequeños productores forestales y familias campesinas, a menudo incapaces de pensar en inversiones de 20 años mientras tienen obligaciones y necesidades presentes.

Algunas experiencias internacionales arrojan luces en este sentido y valdría la pena considerar su adaptación a las condiciones del país. En particular, los derivados forestales como fuente temprana de ingresos para promover la producción forestal familiar han sido exitosamente aplicados en países como Chile y Nueva Zelanda. Un derivado es un instrumento financiero cuyo valor depende del valor o precio de un activo, llamado activo subyacente, que en este caso corresponde a la madera de la plantación forestal. Este instrumento puede ser vendido o intercambiado en la bolsa de valores sin que el bosque llegue a cambiar de dueño.

El derivado se asemeja a un crédito, toda vez que otorga liquidez y recursos al campesino y permite al 'acreedor', papel asumido por el inversionista, tener bajo su poder un título valor (el derivado), el cual cobra valor en el tiempo a medida que aumenta su valor presente neto, cumpliendo el papel que tiene el interés en el caso de un crédito. No obstante, a diferencia de este, la fuente exclusiva o principal de pago de la deuda, al igual que la



garantía, son los flujos de caja futuros generados por los activos subyacentes (la plantación forestal), y no la capacidad de pago del productor, lo que le hace ideal para vincular a pequeños productores que no tienen liquidez ni un flujo significativo de ingresos en la actualidad.

Naturalmente, el hacer una inversión a tan largo plazo como la forestal en predios ajenos supera el apetito de riesgo de la mayoría de inversionistas. De hecho, cualquier riesgo considerado menor en el corto plazo, puede resultar siendo intolerable si es extrapolado a una escala de tiempo superior, de 20 o 30 años, como la que caracteriza a los proyectos forestales, toda vez que la posibilidad de ocurrencia a lo largo del periodo se magnifica. Por ello, se pueden establecer mitigantes importantes desarrollados en el documento técnico del Instituto SINCHI *Propuesta técnica de incentivos y otros instrumentos para la conservación en el Guaviare*.

Tabla No. 6. Instrumentos y su funcionalidad complementaria para facilitar la reconversión productiva hacia usos y prácticas más sostenibles

| Función | Instrumento |
|---|---|
| Facilitar la reconversión productiva al proveer financiación e incentivos en contraprestación por servicios ambientales recibidos | Pago por servicios ambientales -PSA- de carbono y biodiversidad |
| Utilizar la fuerza del mercado para comprometer al campesino con sistemas productivos sostenibles, y fortalecer los medios de vida locales mediante el aumento de ingresos, diversificación productiva y aprovechamiento de recursos locales previamente inadvertidos; Adicionalmente, propiciar otros destinos de inversión distintos a la compra de ganado. | Cadenas de valor |
| Hacer explícitas las condiciones, derechos y obligaciones que atañerán a cada una de las partes en torno a los propósitos de conservar y usar sosteniblemente el territorio. Paralelamente, ofrecer diferentes grados de garantías al proceso. | Acuerdos de conservación y servidumbres ecológicas |
| Proveer financiación para la reconversión productiva, e incentivar a la familia a cumplir a cabalidad sus compromisos. | Contrato de mutuo con cláusula de condición resolutoria |
| Facilitar la inversión privada y pública en la producción forestal familiar, satisfaciendo las necesidades de ambas partes. | Derivados forestales |

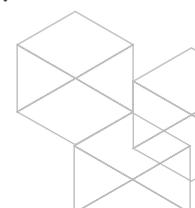
Fuente: Elaboración propia

Esquemas de instrumentos para interiorizar externalidades negativas

Actualmente, las políticas de desarrollo rural sostenible en regiones tropicales del mundo, están fundamentadas sobre el supuesto de que intensificar y orientar el uso de la tierra hacia su vocación y mayor potencial, permitirá aumentar la producción de comida, aprovechando un menor espacio, y por ende, sin tener que expandir la frontera agrícola ni deforestar más bosques naturales.

No obstante, el apoyo técnico, tecnológico, financiero, logístico y productivo ofrecido a pequeños, medianos y grandes productores, pensado con el fin de intensificar su producción y ampliar la comercialización, constituye un arma de doble filo que puede terminar propiciando la deforestación, incluso habiendo incluido juiciosas salvaguardas ambientales y favorecido la implementación de sistemas agroecológicos.

En particular, resulta preocupante que, al intensificar el uso del suelo, los mayores rendimientos económicos representen un mayor costo de oportunidad para la conservación, y por otro lado, motiven y doten de mayor capital a los productores para expandir sus operaciones a costa de relictos de bosque propio, o de bosques naturales más allá de los límites de su finca. Estudios como el de Geist y Lambin (2002) han encontrado también una alta correlación entre grado de comercialización y deforestación, sobre todo en la región norte del Amazonas y en el Sudeste Asiático.



En este sentido, un mayor desarrollo y la acumulación de capital que traería consigo la dinamización económica de la región, supone en sí un riesgo para la conservación de los bosques (requiere cita). Por esta razón, resulta fundamental, en primer lugar, des-escalar y materializar a nivel de predio las políticas socio-ambientales y económicas para la región, al igual que los ejercicios de ordenamiento, de manera práctica y comprensible, integrando los objetivos personales del productor con los objetivos de gestión ambiental y social del Estado y la sociedad. *El instrumento de Plan predial de reconversión productiva* está llamado a satisfacer esta necesidad, pero lo que resulta verdaderamente novedoso, es la posibilidad de que este se escale como herramienta y se convierta a su vez en un instrumento económico, al constituir tanto una hoja de vida del productor, como una puerta capaz de condicionar su acceso a beneficios, incentivos y apoyos estatales con base en su desempeño pasado y compromiso actual.

En segundo lugar, y con el fin de reducir el riesgo de mayor deforestación como resultado de una dinamización económica de la región, deben poder incorporarse los costos sociales que generan en sus actividades productivas los privados. Para estos efectos, la aplicación de tasas compensatorias, ya provistas en la legislación colombiana, tendrían el potencial de desincentivar o hacer menos atractivas aquellas actividades productivas o extractivas que generan deforestación en el Guaviare, especialmente si se realizan en contravención con lo dispuesto en planes de ordenamiento territorial o ejercicios de zonificación.

Esta tasa, no reglamentada aún, pero provista en el artículo 42 de la Ley 99 de 1993, tiene por objeto compensar los gastos de mantenimiento en que incurre el Estado y la sociedad para asegurar la renovabilidad de los recursos naturales renovables. En este sentido difiere de un impuesto, en la medida en que no es de aplicación general a la población, sino solo a quienes incurren en causales de pago. La tasa compensatoria tiene el poder de hacer que actividades que degraden los recursos renovables como el agua, el suelo o la cobertura vegetal, sean menos atractivas frente a usos y prácticas más sostenibles. A su vez, su implementación proveería de recursos a las autoridades ambientales en su esfuerzo por reducir ese impacto.

La utilización de tasas compensatorias constituye un elemento más flexible que la multa u otras sanciones, en la

medida en que puede ser ajustada en el tiempo, de menos onerosa a más onerosa, lo que permite una transición progresiva hacia el estado deseado de cosas, y otorga al productor mayor tiempo de aprovechar los apoyos estatales en el montaje de sistemas agroforestales y silvopastoriles, sin que se llegue a ver contra la pared inadvertidamente.

Una tasa también incita a aquellos productores que tengan menores costos de reconversión a iniciar rápidamente el proceso de cambio, a fin de no pagar la tasa, mientras que permite a aquellos con mayores costos de adaptación, a programar su proceso de reconversión sin generar traumatismos económicos o sociales, como serían la acumulación de multas y la subsecuente bancarrota de la finca, la pérdida de empleos y la oposición abierta a las autoridades ambientales.

Si bien el presente documento centra su atención primordialmente en los instrumentos e incentivos que propician la conservación y la producción sostenible, el otro lado de la moneda es igualmente importante, si se quiere incidir en los hábitos e intereses de las comunidades. Una de las intervenciones gubernamentales más eficaces en este sentido ha sido la implementada por autoridades brasileñas en el 2008, comúnmente conocida como la 'lista negra' municipal.

Como parte de esta iniciativa, a las fincas ubicadas en los 36 municipios con mayor deforestación de Brasil (es decir, 'los de la lista negra') se les sacó de los programas de crédito agrícola del gobierno hasta que mejoraran sus resultados. Varios municipios respondieron rápidamente con agricultores, ganaderos y gobiernos locales organizados para reducir la deforestación (Nepstad *et al.*, 2013).

Mediante la definición de la escala de desempeño de toda la jurisdicción (el municipio) con una simple métrica (deforestación anual en comparación con el promedio histórico) y sus consecuencias directas (acceso al crédito), el programa ha favorecido la colaboración, el diálogo y la innovación logrando reducir la deforestación a gran escala. (Nepstad *et al.*, 2013).

Naturalmente, este es solo un ejemplo de la gran variedad de posibilidades que hay en la aplicación de desincentivos, y su implementación en la Amazonia colombiana debería repensarse y adaptarse a las condiciones locales; en par-



particular, probablemente la restricción del crédito en una región hasta hace poco desprovista completamente de este, y actualmente ávida de financiación para emprender adecuaciones productivas más sostenibles, deba ser abordada con precaución. Aun así, puede tener margen de aplicación sobre empresas agrícolas y grandes terratenientes que tengan tasas preocupantes de deforestación, sobre todo en vista de que estos ocupan una extensión considerable del Guaviare, y que, dado su poder adquisitivo, pueden ser menos susceptibles a esquemas de incentivos como los propuestos en el presente documento.

Tabla No. 7. Instrumentos y su funcionalidad complementaria para interiorizar externalidades negativas

| FUNCIÓN | INSTRUMENTO |
|--|---|
| Condicionar el acceso del productor a beneficios, incentivos y apoyos estatales con base en su desempeño pasado y compromiso actual. | Plan predial de reconversión productiva como 'hoja de vida' del productor |
| Facilitar la incorporación de costos sociales por parte de privados, y desincentivar actividades productivas o extractivas que contravienen lo dispuesto en planes de ordenamiento territorial o ejercicios de zonificación. | Tasa compensatoria |
| Penalizar a medianos y grandes productores, cuyas actividades inciden de manera significativa en la ampliación de la deforestación. | 'La lista negra' |

Fuente: Elaboración propia

Políticas acompañantes y nuevos desafíos

Como bien se desarrolla en el presente documento, la deforestación en la Amazonia colombiana es un fenómeno atravesado por dinámicas socioeconómicas y biofísicas complejas que interactúan entre sí, tendiendo a retroalimentarse y a generar gran presión o incentivos sobre los actores que inciden directamente en la deforestación. En esa medida, la deforestación resulta difícil de contrarrestar mediante políticas públicas aisladas que han sido diseñadas con fines puntuales que se limitan, a menudo, a actuar sobre causas directas o problemas sintomáticos asociados a la deforestación, sin que la política pública llegue a alterar la naturaleza del sistema de relaciones que incide en esta.

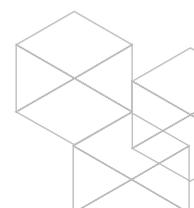
La aplicación de esquemas de instrumentos como los propuestos en el presente documento, y desarrolla-

dos con más profundidad en el Documento Técnico del Instituto SINCHI *Propuesta técnica de incentivos y otros instrumentos para la conservación en el Guaviare*, constituyen un intento de respuesta integral llamada a actuar de manera conjunta sobre los principales motores subyacentes de la deforestación en el Guaviare.

Aún así, y como bien propone Phalan et al (2016), es conveniente que este tipo de instrumentos vengán acompañados de estrategias más amplias de zonificación, pero también de la disposición estratégica de infraestructura, conocimiento, capacitación y otros recursos en ciertas zonas, que permitan su ausencia deliberada en otras, de manera que se desincentive el desarrollo en zonas ecológicas estratégicas.

Por otro lado, su riesgo de frustrar políticas y programas innovadores y bien articulados para frenar la deforestación en el Guaviare, deben identificarse y desmantelarse los incentivos perversos provistos por la institucionalidad, y que amenazan con contrarrestar cualquier esfuerzo hecho en favor del desarrollo sostenible. Tal vez el más claro de estos esté dado por la Ley 160 de 1994 y el Artículo 8 del Decreto 2664 de 1994, que exigen al campesino como requerimiento para la titulación de su predio, demostrar que las (2/3) partes de la superficie se encuentran bajo producción. Se recomienda en futuras reformas incluir la posibilidad de efectuar reclamo sobre tierras boscosas, y no solo aquellas trabajadas, siempre y cuando se establezca un plan básico para su conservación o aprovechamiento sostenible; de esta manera el campesino no se verá forzado a deforestar para lograr la titulación del predio, y podrá recibir apoyo técnico en el aprovechamiento sostenible de los bosques.

Por otro lado, ha sido motivo de gran preocupación la creciente deforestación en los departamentos amazónicos del norte, en particular desde que iniciaron los diálogos de la Habana las FARC-EP han menguado su control ambiental sobre el territorio, al punto en que actualmente es casi nulo. Resulta prioritario llenar el vacío de poder dejado por actores armados en numerosas regiones del país, y en particular en el Guaviare, dotando a las autoridades ambientales de recursos humanos, financieros y otros medios que estén a la escala de la envergadura de sus territorios y de los retos que enfrentan.



La Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico -CDA-, es la Corporación Autónoma Regional con jurisdicción sobre el área del proyecto. Esta tiene sede principal en Inírida, Guania, pero cuenta con una oficina en San José del Guaviare; aun así, es evidente el reto que tiene esta entidad al ejercer como autoridad ambiental en un área tan extensa, remota, e inaccesible, con problemas de seguridad que persisten.

Si bien ya está operando un sistema de alertas tempranas con imágenes satelitales provistas por el IDEAM, estas llegan solo semestralmente, y una vez están en manos de los técnicos de la CDA, demoran varios meses en ser

interpretadas (Entrevista del autor con autoridades ambientales de la región), razón por la cual, resultan del todo insuficientes para frenar o prevenir eventos inminentes de deforestación. En esta medida, resulta fundamental que la CDA estreche mayores lazos de cooperación con la Policía Nacional, a fin de aumentar su capacidad de sancionar y judicializar a infractores de la norma ambiental en tan extenso territorio; también resulta urgente la aplicación de nuevas tecnologías de monitoreo de bosques en tiempo real o casi real. De particular interés resulta el proyecto de *Drones para la conservación*, financiado por el Banco Mundial y el GEF e implementado ya para fortalecer la gestión de áreas protegidas en Barbados y Antigua.

Bibliografía

Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 160 de 1994*, Art. 69.

Dávalos, L. et al. (2014). Demand for beef is unrelated to pasture expansion in northwestern Amazonia. *Biological Conservation*, 170; pp. 64-73.

Geist, H. & Lambin, E. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *Bioscience* 52(2).

Gonzales, J. J., et al. (2011). *Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia*. Bogotá: IDEAM.

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science* 13(162); pp. 1243-1248.

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -**SINCHI**- & GIZ. (2016). *Orientaciones para reducción de la deforestación y degradación de los bosques*. Bogotá: GIZ; 2016.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. (2015). *Lanzamiento cifras de deforestación anual 2014*. Bogotá: IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. (2016). *Lanzamiento cifras de deforestación anual 2015*. Bogotá: IDEAM.

Municipio de San José del Guaviare. *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. Documento técnico: análisis territorial.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1994). *Decreto 2664 de 1994*, Art.8.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible. *Minambiente presentará Proyecto de Ley para adjudicación de baldíos para reservas forestales*. Boletín Web. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3351-minambiente-presentara-proyecto-de-ley-para-adjudicacion-de-baldios-para-reservas-forestales>

Ostrom, E. et al. (1999). Revisiting the Commons: Local Lessons, Global Challenges. *Science* 284.

SCHLAGER, E. & OSTROM, E. Property-Rights Regimes and Natural Resources: A Conceptual Analysis. *Land Economics*. Vol. 68, No. 3 Aug., (1992), pp. 249-262

Senge, P. (2012). *La quinta disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. Buenos Aires: Gránica.

Tarazona, H. & Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -**SINCHI**-. (2007). *Agenda 21. Construyendo Agenda 21 para el Departamento del Guaviare*. Bogotá: **SINCHI**.

The World Bank. (2002). *Project appraisal document on a proposed grant from the global environment facility trust fund to CATIE for the integrated silvopastoral approaches to Ecosystem Management Project in Colombia, Costa Rica and Nicaragua*. Washington: The World Bank.

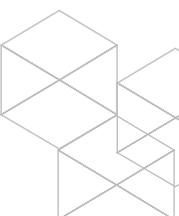
Tietenberg, T. & Lewis, L. (2011). *Environmental & Natural Resource Economics*. New York: Pearson.



13.

Evaluación de la Amenaza Climática como Herramienta para la Gestión Ambiental en el Departamento del Guaviare, Colombia

Marinela Valencia Giraldo y Jaime Barrera



Resumen

La amenaza climática está constituida por la variabilidad y el cambio climático, siendo la evaluación de la primera, la herramienta estructural para hacer frente a la realidad de un clima cambiante con lo que ello implica en términos de la oferta de bienes y servicios ambientales. La adaptación y la mitigación a la variabilidad y al cambio climático hacen parte fundamental de la gestión ambiental, las cuales parten de la evaluación de la amenaza. Los resultados de la evaluación de uno de los fenómenos de variabilidad climática, el ENSO, en el Departamento del Guaviare, muestran cómo la variabilidad climática en esta zona tiene un comportamiento bien diferenciado con respecto al resto del país; de igual manera, los análisis de tendencia y las proyecciones hechas en los escenarios de cambio climático muestran el posible comportamiento de las principales variables hidroclimatológicas para diferentes horizontes temporales.

Palabras clave: Amenaza climática, cambio climático, variabilidad climática, gestión ambiental

Introducción

La variabilidad y el cambio climático traen consigo diferentes tipos de amenazas, incluyendo aquellas que ponen en riesgo la continuidad de la oferta de bienes y servicios ambientales de los diferentes ecosistemas. El aporte de elementos técnicos y científicos para la planificación ambiental del territorio y el manejo de los diferentes recursos naturales cobra cada vez mayor relevancia, dadas las dinámicas socio - ambientales cada vez más complejas y aleatorias.

La disponibilidad de agua para sus diferentes usos, la regulación hídrica, la biodiversidad, la captura de carbono, así como los demás servicios ecosistémicos dependen del comportamiento de las variables climáticas y de la distribución del agua en la cuenca; por tanto, todo aquello que modifique la dinámica climática e hidrológica se

traduce necesariamente en cambios en la oferta de bienes y servicios de un ecosistema. La mayor frecuencia y magnitud de eventos extremos asociados a la variabilidad y al cambio climático inciden en gran medida en la cantidad y la calidad del agua, en el mantenimiento de los diferentes ecosistemas y en la ocurrencia de desastres, entre otros; por ello, su estudio reviste gran importancia para la toma de decisiones en el marco de la gestión ambiental.

La evaluación de la amenaza climática (variabilidad y cambio climático) constituye el primer paso para la identificación de sus efectos sobre los servicios ecosistémicos; por esta razón, se presenta una evaluación de la variabilidad climática, enfocada en el efecto del ENSO sobre la dinámica de la precipitación en la zona de estudio y un análisis de las tres comunicaciones nacionales sobre cambio climático, con el fin de entender mejor la amenaza climática, y de esta manera hacer una mejor lectura de los resultados obtenidos a diferentes resoluciones y así contribuir a la toma de decisiones informada, orientada a garantizar la continuidad de los sistemas ecológicos y sociales.

Materiales y métodos

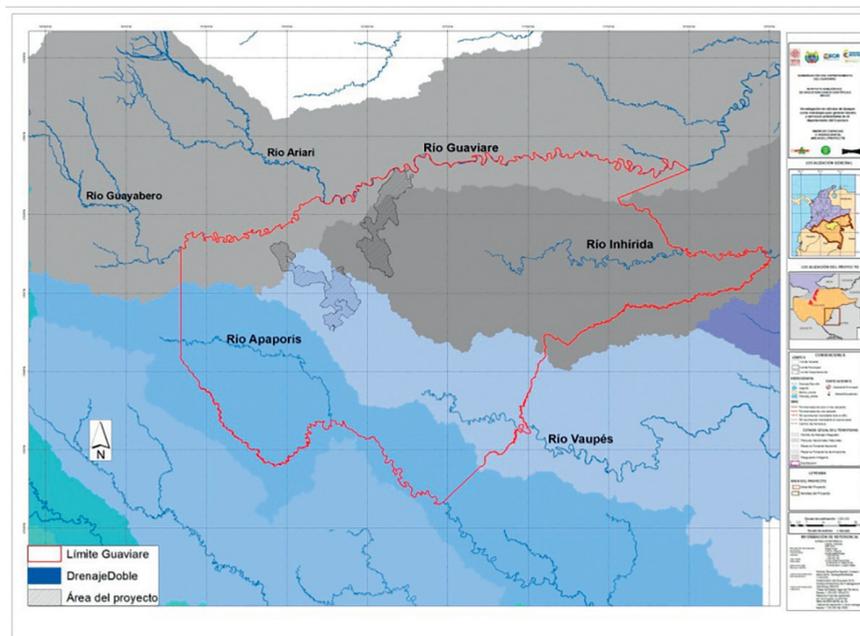
Área de estudio

El Departamento del Guaviare está ubicado en la región amazónica, y desde el punto de vista hidrológico está ubicado entre dos áreas hidrográficas, el Orinoco y el Amazonas, como se muestra en la figura 1. Toda la parte norte del Guaviare pertenece a la cuenca del Orinoco, y la parte Sur hace parte de la cuenca del Amazonas.

En la figura 2 se muestran, además de las dos áreas hidrográficas en las que se encuentra el Guaviare (grises y azules), las subzonas que, en el caso del área del Orinoco, son las correspondientes al río Inírida y al río Guaviare y, en el caso del área del Amazonas, son las subzonas del río Apaporis y del río Vaupés.

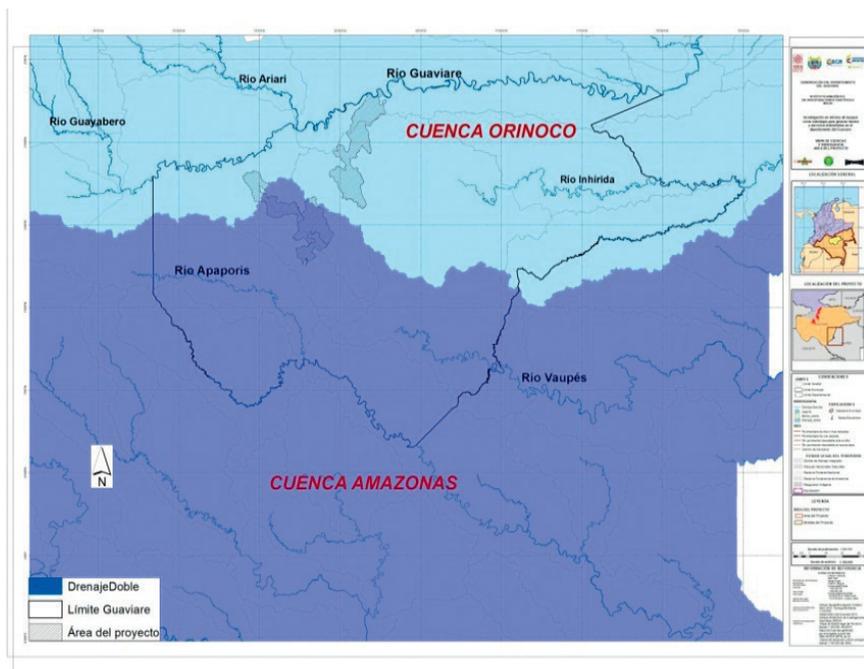


Figura 1. Áreas hidrográficas del departamento del Guaviare

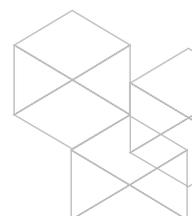


Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Zonas y subzonas hidrográficas del departamento del Guaviare.



Fuente: Elaboración propia



Procesamiento de los datos

Con el fin de realizar la caracterización climática general y el análisis de variabilidad climática (específicamente e ENSO) de la zona de estudio, se llevó a cabo el análisis de los registros históricos de precipitación total a resolución diaria con datos del IDEAM; las estaciones empleadas se relacionan en la tabla 1 y se presentan en la figura 3. Para ello, se llevaron a cabo las siguientes etapas: unificación de formatos, conversión de escalas y/o unidades, revisión de cantidad de datos, revisión de calidad de los datos, detección de datos anómalos, análisis de consistencia de las series, análisis de doble masa, depuración de la información, agregación de las series, selección de estaciones y periodos a emplear, llenado de datos y análisis de variabilidad climática (este último con la ayuda del programa Jaziku).

Para los diferentes análisis se emplearon datos de estaciones ubicadas no solo en el departamento del Guaviare, sino en Meta, Casanare, Vaupés y Vichada. Las estaciones con los registros más altos de precipitación se presentan en el noroccidente del Vaupés (4037,9 mm) y las de los registros más bajos al suroccidente del Meta (2494,9 mm). Los valores de precipitación anual multianual van desde los 2500 mm hasta los 4000 mm.

Tabla 1. Estaciones de precipitación seleccionadas para el análisis

| Código | Nombre | Categoría | Altitud | Fecha_ins | Fecha_sus |
|----------|-----------------------|-----------|---------|------------|------------|
| 31015010 | El Trueno | CO | 150 | 5/15/1982 | |
| 32010010 | La Mariposa | PM | 383 | 6/15/1983 | |
| 32030020 | Raudal Uno | PM | 351 | 6/15/1983 | |
| 32035010 | La Macarena | CP | 350 | 10/15/1967 | |
| 32035020 | La Balsora | CO | 372 | 12/15/1983 | |
| 32040010 | La Catalina | PM | 262 | 6/15/1983 | |
| 32040020 | Isla Del Muerto | PM | 184 | 6/15/1983 | |
| 32070010 | Campo Alegre | PM | 260 | 9/15/1979 | |
| 32070020 | Caño Blanco | PM | 240 | 9/15/1979 | |
| 32070080 | Tierra Grata | PM | 191 | 6/15/1983 | |
| 32075030 | Vista Hermosa | CO | 325 | 4/15/1969 | |
| 32075080 | Pto Lleras | CO | 245 | 10/15/1990 | |
| 32080010 | Pto Rico | PM | 230 | 8/15/1979 | |
| 32080030 | Candilejas | PM | 184 | 6/15/1983 | |
| 32080040 | El Pororio | PM | 235 | 12/15/1983 | |
| 32087030 | Teja Roja | LM | 220 | 11/15/1978 | 5/15/1983 |
| 32087040 | Candilejas | LG | 184 | 2/15/1983 | 9/15/2005 |
| 32090010 | Mapiripán | PM | 158 | 6/15/1983 | |
| 32105070 | San José Del Guaviare | CO | 165 | 11/15/1983 | |
| 32110010 | El Trapiche | PM | 125 | 4/15/1984 | 02/28/2002 |
| 42040010 | Yuruparí | PM | 200 | 3/15/1984 | |
| 42050020 | Mandi | PM | 190 | 4/15/1984 | |
| 42060010 | Los Cerros | PM | 195 | 3/15/1984 | |

Fuente: Elaboración propia

entre ellos la capacidad de regulación y abastecimiento hídrico, la biodiversidad y la captura de carbono, lo cual tiene grandes implicaciones en los sistemas sociales, económicos y naturales.

El cambio climático afecta la función y operación de la infraestructura hídrica existente, así como las prácticas de gestión integral de los recursos hídricos. Así mismo, existe una probabilidad de cambio de la cantidad, la intensidad y la distribución espacial de las precipitaciones; podrían presentarse modificaciones de la escorrentía superficial y en cantidad de agua evapotranspirada por las plantas (IPCC, 2007). Los efectos adversos sobre la dinámica natural y socio económica de la variabilidad y el cambio climático han sido cada vez más evidentes en la región, es por ello que han empezado a surgir una serie de iniciativas para hacer frente a la realidad de un clima cambiante a partir de la incorporación de la amenaza climática en la gestión de los sistemas naturales y construidos.

La generación de los escenarios de cambio climático y la evaluación de la variabilidad climática son significativamente diferentes, entre otros, porque este último presenta, comparativamente, un menor nivel de incertidumbre y, por tanto, constituye una mejor herramienta para el diseño de medidas de mitigación y adaptación y en general para la gestión ambiental a diferentes niveles. Los escenarios de cambio climático constituyen una proyección de los posibles cambios que se podrían dar en el futuro respecto a la dinámica del clima (los cuales, en general, conservan la tendencia de los valores observados) y pueden tomarse a modo indicativo.

Para analizar el tema de la amenaza climática, en este estudio se recurrió básicamente a las comunicaciones nacionales de cambio climático, las cuales están orientadas a mejorar el entendimiento de los fenómenos climáticos y sus posibles consecuencias; actualmente, se cuenta con los escenarios de la primera, segunda y tercera comunicación de cambio climático del IDEAM en los que se presentan las proyecciones de las variables de temperatura y precipitación hasta el 2100, los cuales constituyen el principal referente de dinámica del cambio del clima para todo el país.

Otros estudios que ayudan a hacer una adecuada lectura del cambio que ha venido teniendo el clima en Colombia lo constituye el Estudio Nacional de Agua del IDEAM que involucra el análisis de las alteraciones de la oferta hídrica en el país frente a la variabilidad y el cambio climático. En el Atlas Climatológico se muestran los efectos de la variabilidad sobre la dinámica climática en todo el país. De igual manera, se cuenta con estudios de tendencia de las variables hidroclimatológicas de la región. Y, finalmente, para complementar lo anterior, se realizó la evaluación de la variabilidad climática (efecto del ENSO sobre la precipitación) en el departamento del Guaviare.

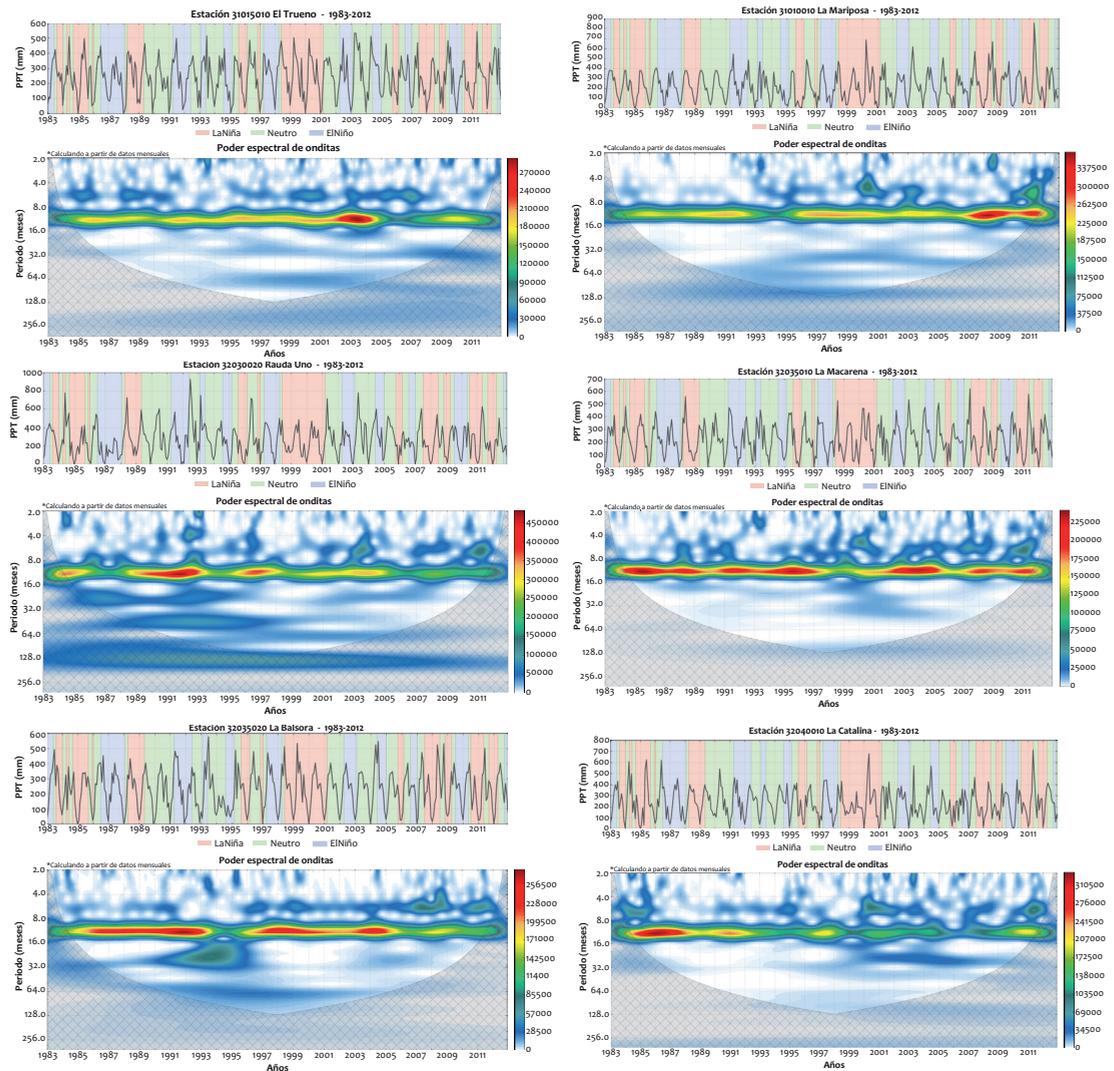
Resultados y discusión

Variabilidad climática

La variabilidad climática fue evaluada a partir de on-deletas (análisis en el dominio de las frecuencias) con los datos de precipitación de todas las estaciones que cumplieron con los criterios de cantidad y calidad de los datos; para el caso de la zona de estudio, varias estaciones no cumplieron con los requerimientos mínimos para realizar el análisis; sin embargo, se flexibilizaron los criterios para que pudieran finalmente ser empleadas. Se hizo una agregación de las series (datos diarios a mensuales).

En las figuras 4, 5, 6 y 7 se presentan las gráficas del análisis espectral. En la parte superior de cada gráfica están los registros de precipitación de todo el periodo analizado, el cual está subdividido en tramos por colores los cuales representan periodos neutro, Niño y Niña. En ellas se observa, en la parte donde se representa el poder espectral, una señal fuerte para el mismo periodo en todas las estaciones, una frecuencia de un ciclo anual (las que tenían la menor cantidad de datos faltantes) del total de estaciones analizadas. Esto se repite para todos los registros de precipitación analizados. Si bien en la parte superior de cada figura se evidencia una alta variabilidad y en especial unos incrementos significativos de lluvia en diferentes años, en general estos ocurrieron en periodos considerados como neutros, es decir que no estaban bajo la influencia del Niño o la Niña.

Figura 4. Análisis espectral de la precipitación total mensual de las estaciones El trueno, La Mariposa, Raudal Uno, La Macarena, La Balsora y La Catalina



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de tendencia

De acuerdo con Moreno (2011), la tendencia espacializada de la precipitación para las 4 zonas hidrológicas a las que pertenece el departamento del Guaviare presenta un valor positivo, es decir, aumento de las precipitaciones.

En los análisis realizados por Ecoversa (2010) el comportamiento de la precipitación entre los periodos 1970 – 1995 y 1970 - 2005 muestra que hay una pequeña franja (en el rango de los 3000 a 4000 mm) que se desplaza (en el rango entre los 2500 a 3000 mm), lo que significa que, en términos comparativos, entre los dos periodos de referencia hay una mayor área del departamento del Guaviare con precipitaciones más altas.

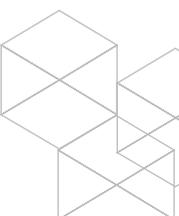
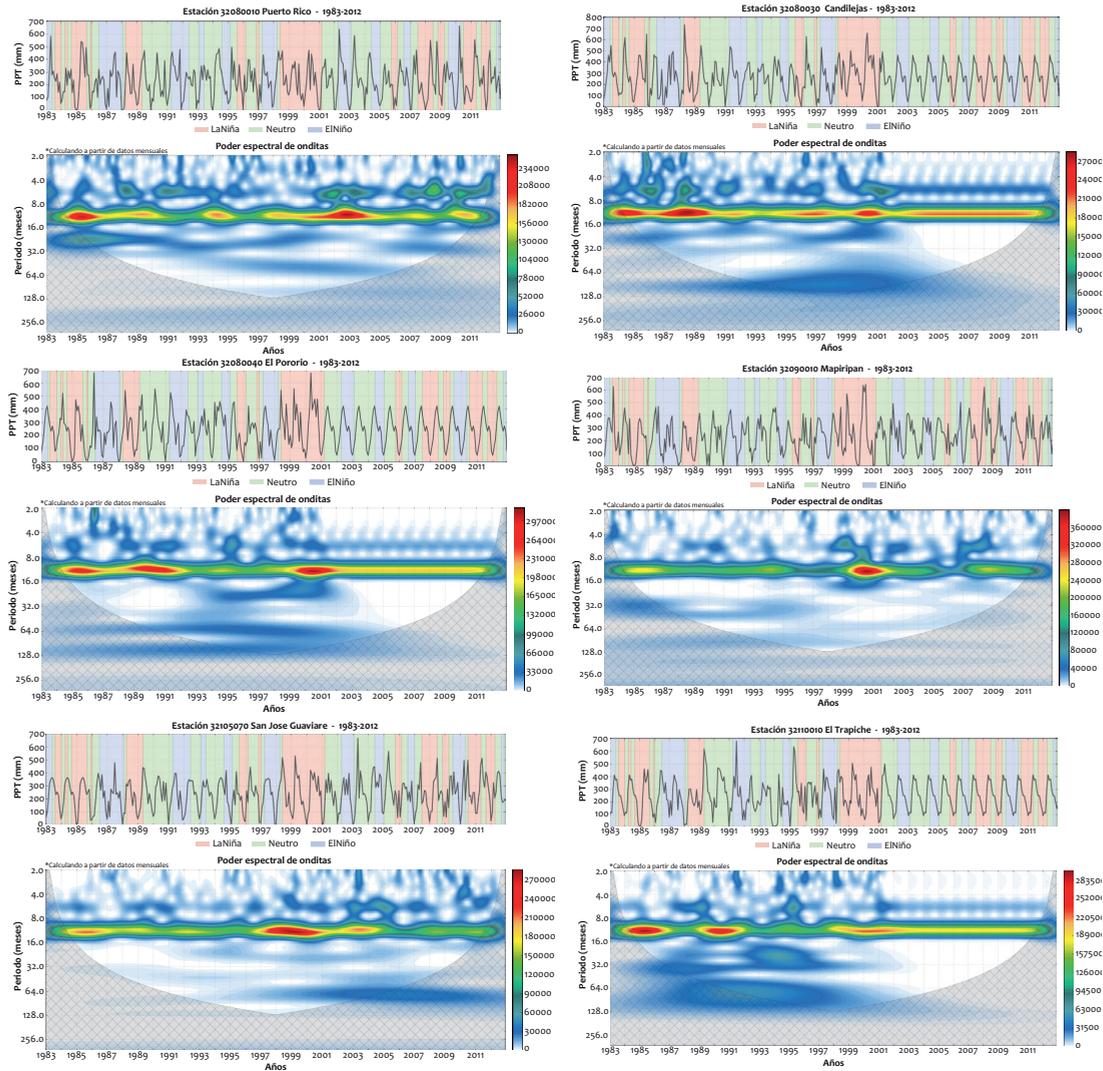


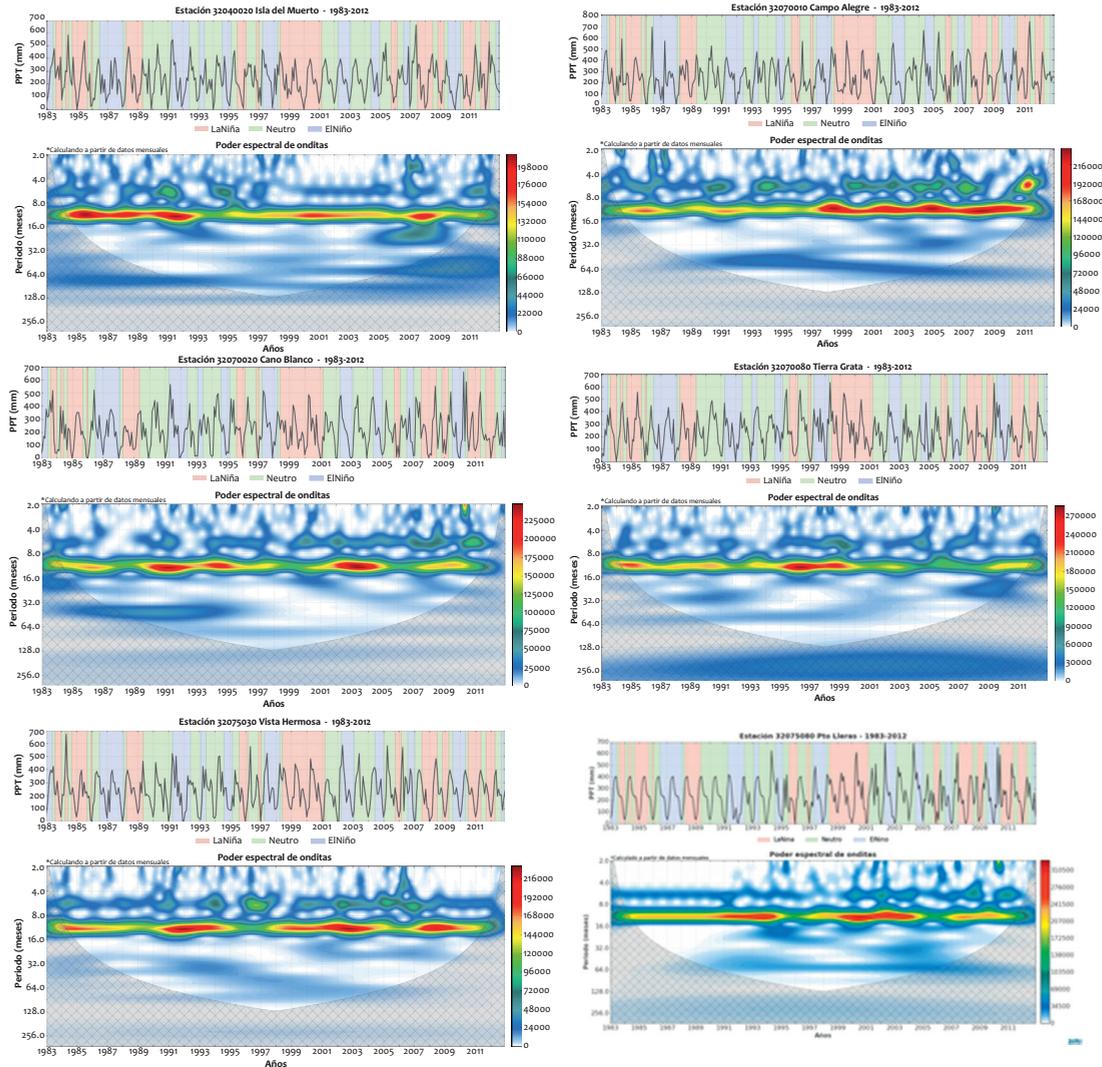
Figura 5. Análisis espectral de la precipitación total mensual de las estaciones Puerto Rico, Candilejas, El Pororio, Mapiripán, San José Guaviare y El Trapiche



Fuente: Elaboración propia

En Ecoversa (2010) los análisis del comportamiento de la evaporación entre los periodos 1970 – 1995 y 1970 - 2005 muestran que hay una muy pequeña área (en el rango de los 1400 a 1600 mm) en el extremo noroccidente del departamento que cambia (en el rango entre los 1600 a 1800 mm), lo que significa que, en términos comparativos, entre los dos periodos de referencia hay una mayor área del departamento del Guaviare con evaporación más alta.

Figura 6. Análisis espectral de la precipitación total mensual de las estaciones Isla del Muerto, Campo Alegre, Caño Blanco, Tierra Grata y Vista Hermosa



Fuente: Elaboración propia

El IDEAM, en su tercera comunicación nacional de cambio climático, ha generado indicadores sobre algunas evidencias del cambio climático en Colombia, basados en el análisis de las series históricas de la precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima), utilizando el Rclimdex, también se analizaron las series de la temperatura media a través del cálculo de las tendencias, a partir de lo cual se detectó un aumento en la temperatura y disminución (en unas regiones) y/o aumento (en otras regiones) de la precipitación en el país.

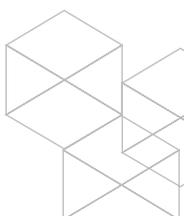
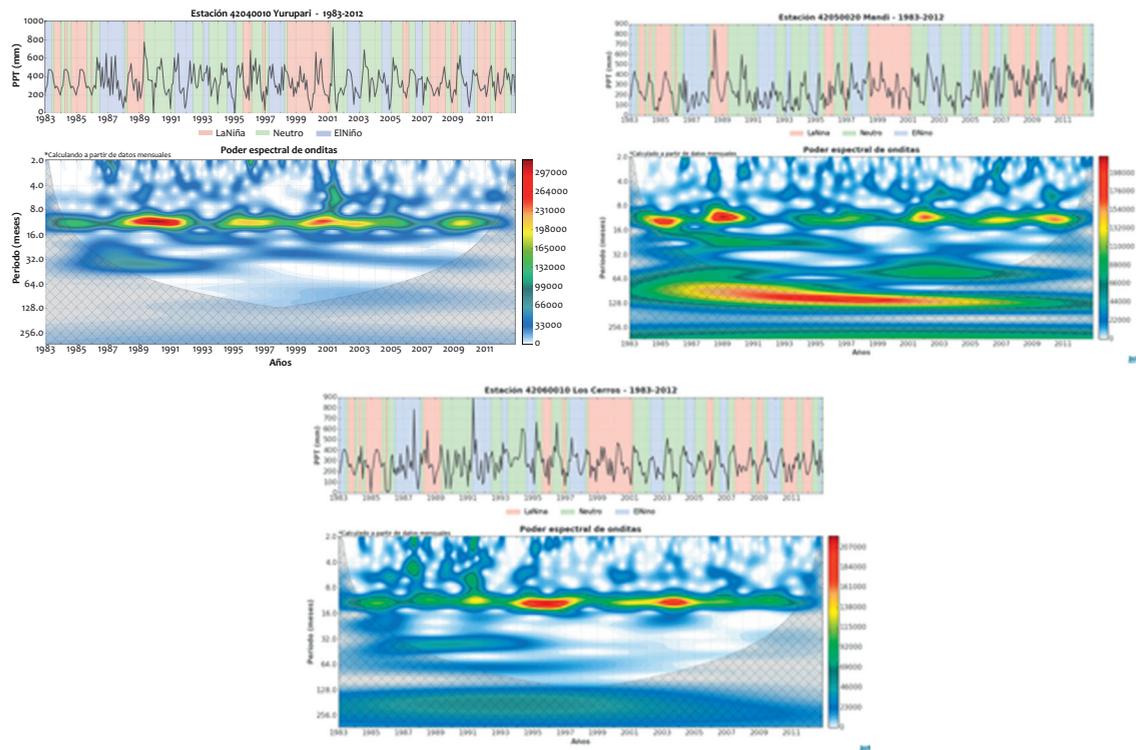


Figura 7. Análisis espectral de la precipitación total mensual de las estaciones Yuruparí, Mandi y Los Cerros



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con IDEAM (2015), en la Amazonia colombiana se evidenció una tendencia lineal positiva de la precipitación en la mayoría de las estaciones de los pisos térmicos cálido (0 a 1000 msnm), que es en el que se encuentra el departamento del Guaviare; se encontró una tendencia al aumento de las precipitaciones con alta intensidad; de igual manera, los promedios de las tendencias de la temperatura media para todas las estaciones analizadas, en los diferentes pisos térmicos, muestran una tasa lineal de calentamiento promedio de 0,17 °C por década, IDEAM (2015). Este constituye el análisis de tendencia más reciente generado para todo el país.

Análisis de cambio climático

Las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático constituyen uno de los compromisos asumidos por los países que hacen parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático -CMNUCC-, los cuales reportan, entre otros, los resultados de las proyecciones arrojadas por los modelos meteorológicos globales, así como los posibles impactos de los cambios

en el clima. En el país se han generado tres comunicaciones sobre cambio climático, a continuación se presentan los aportes más relevantes de cada una de ellas.

Para el Departamento del Guaviare, de acuerdo con las estimaciones hechas por el IDEAM en la Primera Comunicación de Cambio Climático, se proyectaba un incremento en la escorrentía en la zona nororiental de entre 30 – 50 %, hacia la zona noroccidental un incremento del 5 – 10 % y en la zona sur un incremento del 20 – 30 %.

De igual forma, en el departamento del Guaviare, de acuerdo con las estimaciones hechas por el IDEAM en la Segunda Comunicación de Cambio Climático, se proyectaba un aumento de 2 a 3 °C para el periodo 2071 a 2100 con respecto al periodo de referencia y en la precipitación se proyectaba una variación de entre -10 % a +10 % en la mayor parte del departamento, es decir, una condición similar a la actual para el periodo 2071 a 2100 con respecto al periodo de referencia, mientras que en la franja suroriental se proyectaban aumentos del 10 % al 30 %.

Los resultados departamentales de los escenarios de cambio climático 2011 – 2100 en los cuales se prevé, según los escenarios de la tercera comunicación nacional generados por el IDEAM, que para final de siglo podría haber un aumento de temperatura promedio de 2,5 °C sobre los valores actuales de referencia y en los próximos 25 años podría aumentar en casi 1 grado celsius. En cuanto a la precipitación, se tiene proyectado que no habrá cambios significativos, aunque las principales disminuciones podrían generarse en el oriente del departamento en los municipios de El Retorno y San José del Guaviare.

En cuanto a los principales efectos, de acuerdo con la tercera comunicación, estos podrían verse representados en el sector ganadero y agrícola, dado el posible aumento gradual generalizado de temperatura en el departamento del Guaviare. Los municipios de El Retorno y San José del Guaviare podrán verse afectados por sequías debido a la disminución de precipitación de hasta un 10 %. La biodiversidad podría llegar a estar sometida a fuerte estrés térmico debido a la imposibilidad de adaptación hacia zonas más altas, excepto las asociadas a las Serranías de Chiribiquete y La Lindosa. Los cultivos de pan coger podrán verse afectados, lo cual impactaría la seguridad alimentaria de minorías étnicas y campesinos.

4. Conclusiones

La evaluación de la variabilidad climática constituye la herramienta estructural dentro de cualquier estrategia de adaptación al cambio climático y por ende de la gestión ambiental, ya que es la que representa el menor error e incertidumbre pues es evaluada a partir de los datos medidos; sin embargo, es aconsejable complementar los análisis con los escenarios de cambio climático, para tener un mejor entendimiento de la posible dinámica climática.

La principal limitante para evaluar la variabilidad y el cambio climático la constituyen los datos, ya que hay una baja densidad de estaciones hidroclimatológicas en la zona de estudio, y además están concentradas en una sola zona, al noroccidente del departamento del Guaviare; también se presenta baja continuidad en los registros y algunos de estos son de mala calidad.

Los estudios de tendencia disponible emplean muy pocas estaciones del departamento del Guaviare, ya que

no se dispone de registros largos y continuos de las variables de interés, con lo que ello implica en términos de error e incertidumbre; por tanto, los resultados se deben interpretar en ese contexto.

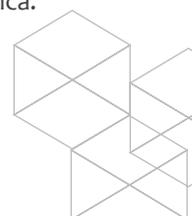
El análisis espectral muestra una clara periodicidad asociada al ciclo anual de lluvias, y no se evidencia (aunque eso no quiere decir necesariamente que no exista), una correlación directa entre el aumento o la disminución de la precipitación y la temperatura ante la ocurrencia del ENSO.

En la evaluación de la variabilidad climática, las principales fuente de incertidumbre son los datos, en términos de continuidad en las series y la representatividad, dada la baja densidad de estaciones presentes en la zona, mayor cantidad de estaciones en la zona norte y poca o nula cantidad en el sur del departamento.

Se requiere una revisión a una escala temporal más detallada para evidenciar los efectos (por lo menos tratar de definir si los hay) de la variabilidad climática sobre la temperatura, los caudales y la precipitación, es decir, se requiere evaluar y entender el efecto de los diferentes sistemas meteorológicos que influyen en la variabilidad climática de la región.

Las tres comunicaciones nacionales, dados los supuestos bajo los cuales fueron proyectados los posibles impactos de la variación de la temperatura y la precipitación, arrojaron resultados diferentes que deben entenderse en función del contexto en el cual fueron generados.

El nivel de incertidumbre inherente a los escenarios de cambio climático es considerablemente alto, los supuestos para generar los escenarios de las tres comunicaciones nacionales sobre cambio climático han tenido diferentes criterios y por tanto los resultados de los escenarios han sido sustancialmente diferentes en algunas regiones del territorio nacional; por ello, se hace necesario acudir a la evaluación de la variabilidad climática que es la que permite evidenciar con un menor nivel de incertidumbre los efectos del cambio en la dinámica del clima. Por tanto, los escenarios de cambio climático nacionales se deben tomar a modo indicativo y contrastarlos con los resultados del análisis de variabilidad climática (que en este caso deben ser el referente principal) con el fin de diseñar estrategias realistas que no sobredimensionen ni subestimen los cambios potenciales de la dinámica climática.



La evaluación de la amenaza por variabilidad climática se hace a partir de datos medidos en las estaciones hidroclimatológicas; dada la gran cantidad de datos faltantes, se descartaron varias estaciones, e incluso se tuvo que flexibilizar la condición de tener máximo un 30 % de datos faltantes, recurriendo al llenado de los periodos sin registros, lo que introduce mayor error e incertidumbre, con el fin de contar con series más fiables y poder emplear una mayor cantidad de estaciones que, en sí, son escasas en el departamento.

La principal recomendación en este punto de evaluación de la amenaza es tener en cuenta el nivel de error e incertidumbre, tanto de la evaluación de la variabilidad climática como de los escenarios de cambio climático, para tener una interpretación adecuada de cada uno de ellos.

Explorar la posibilidad de reconstruir los periodos de datos faltantes de las variables hidroclimatológicas, con

los métodos más apropiados para cada variable, para realizar las pruebas que permiten determinar, entre otros, su tendencia.

Dado que en estas cuencas, por su complejidad, el comportamiento de los caudales no refleja estrictamente la hidroclimatología de la zona, se recomienda analizar el ciclo hidrológico a un buen nivel de detalle, para entender su dinámica hidrológica.

Ahondar más en el significado y las implicaciones de la regulación hídrica a nivel regional (en las cuencas del Orinoco y Amazonas) y su relación con las demás regiones hidrológicas del país.

Es indispensable pensar en un futuro, evaluar la respuesta hidrológica en el contexto de la variabilidad y cambio climático.

Bibliografía

- Corredor X. & Sánchez, I.** (2013). Jaziku - Statistical Inference Software for the Teleconnections Analysis. En *Science and Technology Infusion Climate Bulletin NOAA's National Weather Service 38 th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop College Park, MD, 21-24 October*. Disponible en <http://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/38CDPW/38cdpw-XCorredor.pdf>
- DNP – BID - CEPAL.** (2014). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia – Síntesis*. Bogotá: DNP
- Ecovensa – IDEAM – MDGIF.** (2010). *Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático*. Bogotá: Ecovensa – IDEAM – MDGIF
- García, M. C., Pineros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A. & Ardila Robles, E.** (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería* 36.
- IDEAM** - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Estudio nacional del agua*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM** - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM** - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM** - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM
- IDEAM** - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2001). *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM
- IPCC** - Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). (2007). *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Bogotá: IPCC; pp. 25-46.
- IPCC.** (2014). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio*. Bogotá: IPCC.
- Moreno, J.** (2011). *El mecanismo de reforzamiento hidrológico de los procesos de calentamiento global. Caso de estudio Colombia*. (Tesis de Maestría en Hidrosistemas. Pontificia Universidad Javeriana). Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1452?show=full>



14.

Propuesta Piloto de Zonificación Ambiental con Énfasis en Recursos Forestales para la Zona de Intervención Media a Baja de los Municipios de San José, El Retorno y Calamar, Guaviare

Fredy Neira y Jaime Barrera



Resumen

Con el objetivo de identificar sitios críticos de gestión para la evaluación de impactos sectoriales, se realiza una propuesta de zonificación de manejo ambiental en dos zonas del departamento del Guaviare, que incluyen los municipios de San José, El Retorno y Calamar. La zonificación ambiental propuesta se basa en la integración y análisis de información secundaria sobre estados legales del territorio como las áreas de Reserva Forestal, (Ley 2 de 1959), Parques Nacionales Naturales, territorios indígenas y otras zonas de conservación establecidas por la CDA y en información biofísica de relieve, suelos y clima y del estado actual de uso de la tierra. Adicionalmente, se incluye la vocación y aptitud potencial de uso y la susceptibilidad a degradación de los suelos por erosión.

El esquema propuesto consiste en analizar y sobreponer la información cartográfica determinada por la vocación y aptitud de uso versus el uso actual, obtenido a partir de reinterpretación de la leyenda de cobertura, se identifican los conflictos de uso de las tierras como determinantes de actividades que se sugieren realizar en la región. Se sugieren zonas de conservación (54 %), de manejo productivo (18 %), de producción protectora (20 %) y de reconversión o restauración (6 %). En general, la potencialidad de producción agropecuaria de los suelos de la zona es relativamente baja por lo que se recomiendan que se implementen sistemas productivos agrosilvopastoriles o forestales. Se considera que el 6 % de la zona requiere urgente de reconversión o restauración de suelos para detener la degradación.

Palabras clave: Zonificación ambiental, susceptibilidad a erosión, conflictos de uso

Introducción

El establecimiento de criterios y lineamientos específicos permite orientar la planeación territorial y es la base para la comprensión y apropiamiento de las propuestas de zonificaciones y de manejo de los recursos naturales. Adicionalmente a los criterios establecidos por las diferentes leyes de ordenamiento territorial, se plantean algunos criterios que deben ser considerados, concertados, concretados y comprome-

tidos para el éxito de la planeación como herramienta para el desarrollo sostenible, sustentable y equitativo.

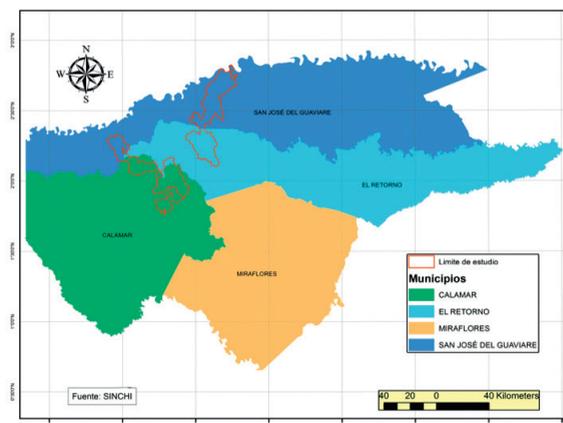
Los criterios propuestos requieren de una concertación, de una validación en cuanto a su viabilidad y factibilidad pero también de una asignación de compromisos, para lo cual se realizarán talleres participativos en los cuales se asignen compromisos. Los lineamientos propuestos se establecen para las condiciones y objetivos específicos del proyecto y de la región de estudio. Con base en las directrices propuestas por el MADs y en las normas del MAVDT & IGAC (2007, 2010) para ordenamiento territorial, se ha realizado una revisión de información necesaria disponible y a partir del análisis de dicha información se identificaron de forma preliminar los lineamientos para integrar en el modelo de ordenamiento, validado con las diferentes instancias involucradas y concertado con la comunidad. El esquema general de lineamientos busca identificar de sitios críticos y orientar el ordenamiento del territorio.

Materiales y métodos

Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio comprende el área de media a baja intervención distribuida en los municipios de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar (figura 1). La tabla 1 indica las áreas correspondientes a cada proyecto.

Figura 1. Área piloto para zonificación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Áreas por municipio

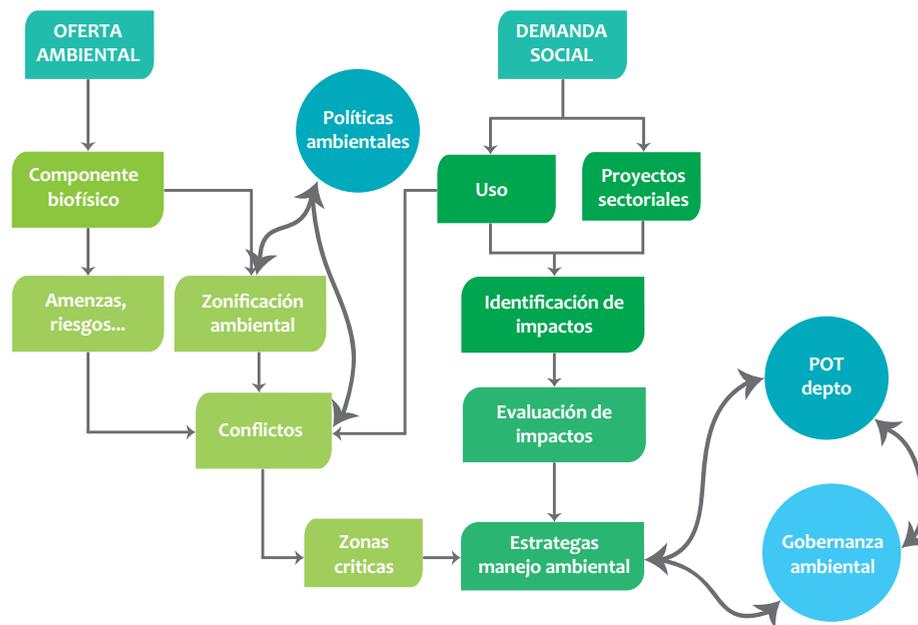
| Municipio | Área por municipio (ha) |
|-----------------------|-------------------------|
| El Retorno | 46318.26 |
| Calamar | 83009.31 |
| San José del Guaviare | 83247.86 |
| Total | 212575.44 |

Fuente: Elaboración propia

Metodología

Se plantea integrar los lineamientos a partir de la perspectiva de evaluación de la oferta ambiental y demanda social. La siguiente figura integra los principales lineamientos propuestos. Los lineamientos propuestos se fundamentan en dos componentes: la biodiversidad y el paisaje productivo.

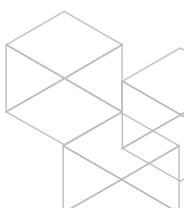
Figura 2. Esquema metodológico general



Fuente: Elaboración propia

La metodología general consiste en el análisis de la oferta ambiental y de la demanda social. La oferta ambiental indica la productividad de los paisajes y la representan los componentes biofísicos de la tierra como el clima, los suelos y los recursos hídricos. De estos se derivan valoraciones como la vocación de los suelos, la aptitud de uso de las tierras y adicionalmente se proponen incluir la susceptibilidad de degradación de los suelos por erosión y la susceptibilidad de inundación. La demanda social corresponde a las necesidades implementadas por el hombre sobre las unidades de la tierra y la representan tanto el estado legal del territorio como el uso actual.

La propuesta de identificación de zonas susceptibles a inundación y encharcamiento se basó en el análisis de condiciones fisiográficas del terreno, establecidas a partir de las unidades de paisaje de los estudios de suelos y en las características físicas de los mismos. Variables como la pendiente, la textura y el drenaje son determinantes para la identificación de zonas susceptibles de encharcamiento, mientras que para la inundación se utilizó la geomorfología, en este caso tipo de relieve.



La susceptibilidad de degradación de los suelos por erosión se realiza con base en los factores relieve, suelo y cobertura. Se seleccionaron dentro de la variable pendiente el relieve, características de los suelos, como su textura, y grado de evolución, se asume que suelos con mayor contenido de materia orgánica son menos susceptibles de erosión, suelos muy evolucionados y que suelos de pendientes más empinadas son más susceptibles de erosión.

La zonificación ambiental propuesta se basa en la integración y análisis de información secundaria sobre estados legales del territorio como las áreas de Reserva Forestal, (Ley 2 de 1959), Parques Nacionales Naturales, territorios indígenas y otras zonas de conservación establecidas por la CDA; de información biofísica de relieve, suelos y clima y del estado actual de uso de la tierra. Adicionalmente, se incluye la vocación y aptitud potencial de uso y la susceptibilidad de degradación de los suelos por erosión.

El esquema propuesto consiste en analizar y sobreponer la información cartográfica determinada por la vocación y aptitud de uso versus el uso actual, obtenido a partir de reinterpretación de la leyenda de cobertura, para obtener un mapa de conflictos de uso de las tierras como determinantes de actividades que se sugieren realizar en la región. Se proponen zonas de conservación, de manejo productivo, de producción protectora y de reconversión o restauración.

Teniendo en cuenta la información disponible oficial tanto de estado legal de territorio, como de zonificaciones determinadas por las diferentes instituciones (CDA, departamento y municipios), se integra la información cartográfica con el objeto de obtener una propuesta de zonificación preliminar de vocación y protección potencial.

Con base en el uso actual y en la propuesta de manejo, se identificarán posibles conflictos de uso de la tierra. Se propone usar la metodología establecida por la UPRA, ajustada a las condiciones locales.

A partir del análisis de la zonificación preliminar, del uso actual y de los conflictos de uso de la tierra, se presenta una propuesta de zonificación final. Las clases propuestas de zonificación se agrupan en: conservación,

producción con protección, reconversión y producción. El área piloto de análisis corresponde a las zonas de media a baja intervención (Murcia *et al.*, 2016) de los municipios de San José, El Retorno y Calamar en el Guaviare.

Resultados

Como elementos fundamentales para la zonificación se presentan inicialmente las susceptibilidades de inundación y encharcamiento y la susceptibilidad de la degradación de suelos por erosión.

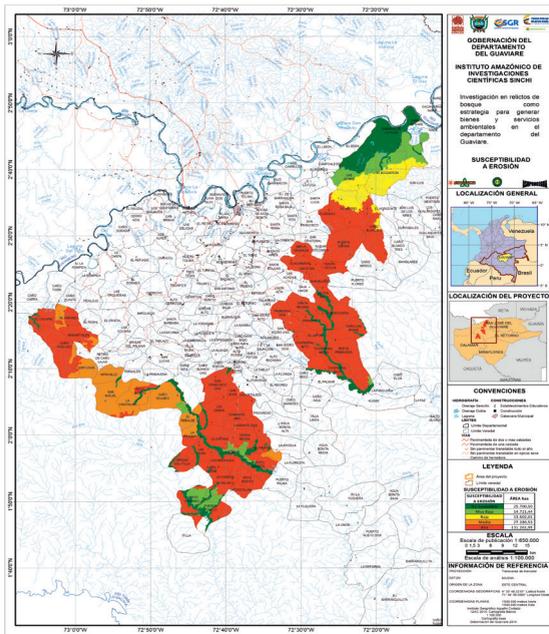
Las inundaciones y encharcamientos son procesos que ocurren naturalmente en los suelos pero que pueden afectar la productividad de las tierras, una vez su cobertura natural es alterada. Igualmente, al establecerse usos que no corresponden a la función natural de los suelos, estos pueden verse afectados en caso de ocurrir inundaciones o encharcamientos. La identificación de áreas susceptibles de inundación y encharcamiento permitirá dar elementos para evaluar la vulnerabilidad de los usos actuales.

Las principales zonas susceptibles de inundación se localizan en la zona norte y corresponden a una planicie de inundación del río Guaviare y otras zonas de inundación de menor escala en ríos localizados al sur de la zona de estudio.

Según el modelo propuesto para determinar la susceptibilidad de degradación por erosión, gran parte de la zona de estudio presenta al menos algún grado de susceptibilidad de erosión. Las zonas de pendientes relativamente más empinadas que corresponden a complejos de lomas y colinas, presentan una susceptibilidad alta de erosión con un estimado de 131.262 ha (61,7 % de la zona de estudio). Un 12,8 % de la zona presenta susceptibilidad media de erosión, que corresponde a los relieves de lomas y cuestras (27.289,5 ha). Las zonas de pendientes menos fuertes que corresponden a superficies onduladas presentan una baja susceptibilidad de erosión con un área de 13.602 ha, (6,4 %). Otras superficies como terrazas presentan una susceptibilidad muy baja de erosión y se estiman 14.721 ha, (6,9 %). Las únicas zonas no susceptibles de erosión corresponden a vallecitos, planos de inundación y meandros abandonados (madre-viejas), que abarcan unas 25.700 ha (12,1 % de la zona). La figura 3 indica la susceptibilidad de los suelos de erosión.

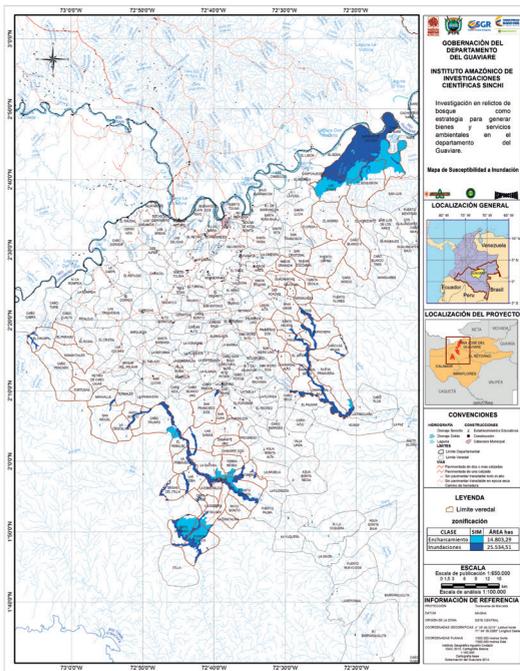


Figura 3. Susceptibilidad a degradación de suelos por erosión



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Susceptibilidad a inundación y encharcamiento



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados del análisis entre las cartografías de zonificaciones propuestas, de estado legal del territorio y de la cobertura (más reciente, correspondiente al 2014) se consideraron varias clases de conflicto:

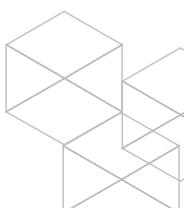
Sin conflicto de uso corresponden a aquellas áreas con cobertura natural y a aquellas cuya vocación y uso potencial es similar al que se establece. Por ejemplo suelos aptos para agricultura, en uso agrícola. Se estima un 63 % de la zona sin conflicto, pero es probable que el estado actual de las coberturas sea diferente, debido a que la deforestación que se reporta ha aumentado en los últimos años.

Las áreas con conflicto bajo o de sub uso corresponden a aquellas áreas donde aunque el potencial es agrícola se establecen usos de pastoreo. Aunque es insignificante el área, menor al 1 %, debe considerarse ya que en términos de planeación de producción de alimentos, deberían usarse las mejores tierras con vocación agrícola para cultivos, ya que son escasas.

Con conflicto bajo, se proponen aquellas zonas de cultivos y pastos en suelos con vocación agrosilvopastoril pero determinantes en la conservación de humedales. El conflicto se determina en este caso no por el uso sino por el impacto de las prácticas en relación con los recursos hídricos. Se considera que un 23,5 % de la zona de estudio presenta este tipo de conflicto. Las zonas propuestas con conflicto moderado corresponden a aquellas zonas en usos agrícolas o ganaderos, en zonas con vocación y potencial forestal. Se estima cerca de un 12 % de la zona con este tipo de conflicto. La siguiente tabla indica el área estimada por tipo de conflicto.

Con conflictos altos de uso de la tierra se estima un área menor al 1 % de la zona de estudio, principalmente debido a que son zonas que debiesen ser áreas de la Reserva Forestal Amazónica definida por la Ley 2da de 1959 y se encuentran en uso antrópico, en este caso en coberturas de cultivos.

Tabla 2. Determinación de conflictos de uso



| Conflicto | Descripción | Área (ha) | % |
|-----------------|--|------------|-------|
| Alto | Cultivos en zonas de Reserva Forestal Amazonica | 1.831,63 | 0,86 |
| Moderado | Pastos y cultivos en zonas prioritarias de protección, de conservación de humedales o con potencial forestal | 25.232,93 | 11,87 |
| Bajo | Pastos y cultivos en zonas de protección, de conservación de humedales, con potencial agrosilvopastoril | 49.996,07 | 23,53 |
| Bajo por subuso | Suelos altamente productivos y condiciones adecuadas para sistemas agrícolas que se están subutilizando | 297,47 | 0,14 |
| Sin Conflicto | Coberturas naturales, sin intervención antrópica o usos adecuados (agrosilvopastoriles) en zonas aptas para estos usos | 134.530,52 | 63,30 |

Fuente: Elaboración propia

La integración de la información anterior permite establecer una propuesta de zonificación ambiental, en la cual se proponen zonas de conservación, de manejo o uso agrosilvopastoril, de protección productiva, de implementación para la producción agroforestal, forestal o agrosilvopastoril y de restauración de ecosistemas de humedales y forestales.

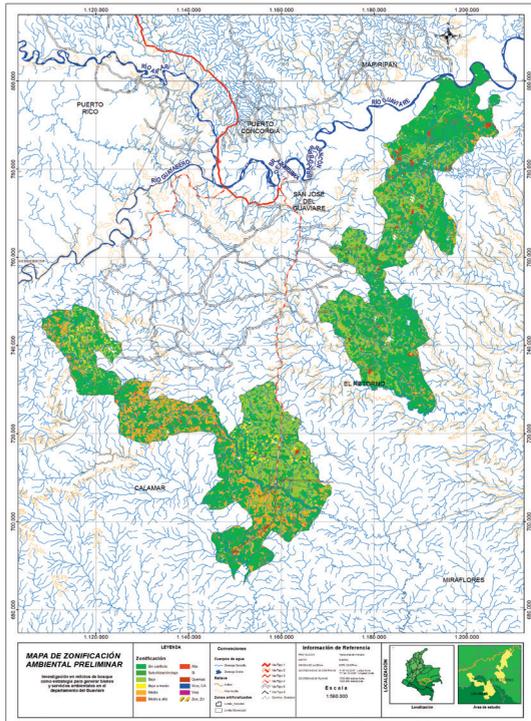
El 54,5 % de la zona de estudio (116.727 ha) podría permanecer en estado de conservación ya sea por sus limitaciones o importancia ecosistémica o por el estado legal del territorio. Como áreas de manejo solo se potencializa un 18,1 % de la zona de estudio (38.823 ha) y se sugieren sistemas agrosilvopastoriles. Un 20,3 % (43.491 ha) podría ser manejado pero bajo condiciones de protección y necesariamente un 6,4 % del área de estudio (13.797 ha) debe tener proyectos de reconversión o restauración por su estado crítico y su importancia en cuanto a recursos asociados, principalmente hídricos.

Tabla 3. Zonificación forestal ambiental propuesta

| Clase | Actividad propuesta | Área (ha) | % |
|---------------------------|--|-----------|-------|
| Conservación | Conservación de humedales por protección legal | 806,41 | 0,38 |
| | Conservar bosque | 110698,95 | 51,67 |
| | Conservar humedales | 5221,86 | 2,44 |
| Manejo | Manejo agrosilvopastoril y de humedales | 579,85 | 0,27 |
| | Sistemas agrosilvopastoriles | 38243,59 | 17,85 |
| Producción con protección | Agro-silvo-pastoril | 10,13 | 0,00 |
| | Agro-forestal | 26776,38 | 12,50 |
| | Forestal | 15718,98 | 7,34 |
| | Agricultura conservacionista | 985,17 | 0,46 |
| Reconversión | Reconversión agroforestal | 4156,39 | 1,94 |
| | Reconversión de humedales | 1436,14 | 0,67 |
| | Reconversión de humedales y agrosilvo-pastoril | 867,91 | 0,41 |
| | Reconversión forestal | 7336,95 | 3,42 |
| Otras | Ríos | 364,08 | 0,17 |
| | Cuerpos de agua | 82,57 | 0,04 |
| | Zonas urbanas (ZU) | 181,84 | 0,08 |
| | No aplica (NA) | 777,87 | 0,36 |

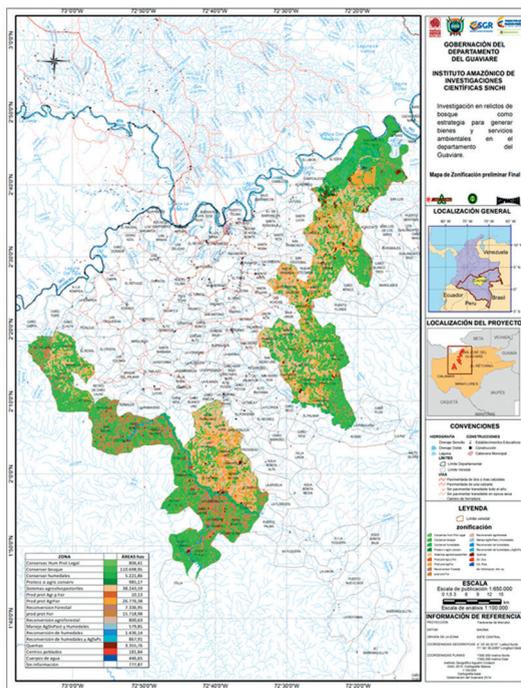
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Zonificación de conflictos de uso



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Mapa de zonificación ambiental propuesta



Fuente: Elaboración propia

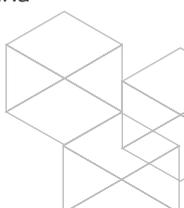
Discusión

La propuesta de degradación de suelos por erosión indica que gran parte de la zona de estudio estaría siendo afectada por este proceso en grado bajo a medio; sin embargo, esta propuesta solo considera las condiciones de suelos y no el potencial impacto de usos y prácticas por lo cual es una versión preliminar. Este mapa se ajustará con el mapa de cobertura y uso para determinar zonas de mayor o menor susceptibilidad de erosión y se considerará como uno de los elementos a incluir en la propuesta de zonificación y de identificación de sitios críticos. En general puede decirse que la mayor parte de la zona es susceptible de erosión aunque su magnitud o impacto sería mayor en las zonas de alta susceptibilidad, mientras que en las zonas de baja y muy baja susceptibilidad este proceso ocurriría de forma más lenta y con menor magnitud.

El estudio de la susceptibilidad de erosión, sin embargo, se realizó a una escala muy general (1:100.000) debido a la disponibilidad de información y se propone como una guía para comprender la magnitud del problema. La susceptibilidad de erosión implica que este proceso ocurriría si la vegetación nativa se elimina y se realizan actividades o usos principalmente agrícolas. Se sugiere realizar una evaluación de susceptibilidad de erosión a escalas más detalladas, a nivel de parcelas, en las cuales se tengan en cuenta otras variables como tipo de uso, prácticas y manejo. Especialmente para las zonas donde se desarrollan actividades agropecuarias.

El análisis de susceptibilidad de inundación propuesto se basa en información secundaria, tomada de los estudios de suelos del IGAC, a escala 1:100.000, por lo tanto es una aproximación general y puede ajustarse o precisarse en la medida de que se disponga de información más detallada.

La determinación de la vocación de los suelos y de la aptitud de uso de las tierras se ha realizado principalmente con fines agropecuarios y forestales. Esta metodología restringe los usos forestales a los suelos con condiciones más limitantes. Sin embargo, en condiciones naturales, sin intervención antrópica, los suelos con mejores condiciones presentan vegetación forestal nativa. Por esta razón se plantea que en la mayoría de los suelos la cobertura más adecuada sea de bosque, por lo que podría



establecerse un uso forestal en suelos no necesariamente restrictivos. De hecho, en aquellos suelos restrictivos para agricultura, o en aquellos suelos que una vez tuvieron bosque y al ser destinados a agricultura han sufrido deterioro es incluso a veces difícil la restauración de sistemas de uso forestales. Se propone que se replantee la metodología para determinar la vocación de uso de las tierras para condiciones de Amazonia y Orinoquia y no se limite a tres actividades como la agricultura, la ganadería y el uso forestal; se debe incluir otros usos alternativos: turismo, fauna, etc. Adicionalmente, teniendo en cuenta que la vocación de uso de las tierras se determina a partir de la información de suelos y esta es general, debe entonces reconsiderarse el ajuste y actualización de dicho estudio, después de todo, el suelo es la base de los ecosistemas y de él dependen tanto las plantas como los animales.

Conclusiones

Con base en el análisis de los resultados, en la zona de estudio se proponen cinco sitios prioritarios para la evaluación de los impactos de los proyectos sectoriales en la productividad de las tierras.

- **Zona 1**, corresponde a la zona norte, en el municipio de San José del Guaviare, en las veredas Sabanas de la Fuga, Damas del Nare, El Boquerón y Las Dunas.
- **Zona 2**, corresponde a los límites entre el municipio de San José del Guaviare y al norte en el municipio de El Retorno, que forma parte del área en estudio, en las veredas Naranjales, Gaviotas, Guacamayas, Las Acacias, Baja Unión, La Dos Mil, Santa Cecilia y Puerto Ospina.
- **Zona 3**, ubicada entre los municipios de Calamar y El Retorno, en las veredas de El Rebalse, La Primavera, La Gaitana, Las Damas, Diamante (1 y 2), Tierra Negra, San Francisco y San Juan.
- **Zona 4**, se ubica en el nor-occidente del municipio de Calamar, según el mapa municipal, sin embargo, según el mapa, las veredas corresponden al municipio de El Retorno (San Miguel, La Cristalina, Miravalle,

Patio Bonito, Termales y Caño Triunfo, por lo que debe hacerse una verificación de veredas.

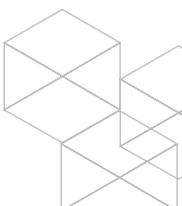
- **Zona 5**, se propone al occidente, en el municipio de San José del Guaviare, en la zona de influencia del presente estudio, en las veredas Caño Pescado, El Paraíso, Manantiales y El Chuapal.
- La selección de las zonas críticas se basa en la información disponible tanto cartográfica como temática, sin embargo, debe resaltarse que esta es una aproximación, especialmente porque la información secundaria se encuentra a escalas muy generales (de orden incluso nacional) que deben ser ajustadas. Con esta información, aunque muy general, se indican las zonas prioritarias. Dentro de estos cinco sitios propuestos deben identificarse las parcelas específicas para evaluación de los impactos acumulativos de proyectos sectoriales, con participación de los involucrados.
- La base de datos cartográfica que posee el Instituto SINCHI indica que se disponen de mapas de zonificaciones biofísicas, de estado legal del territorio y de propuestas de zonificación por aptitud de uso y vocación de uso de las tierras. Esta información se encuentra a escala 1:100.000 y se constituye en la base para la zonificación, sin embargo, es necesario incluir otra información relevante para propuestas de zonificación, especialmente de componentes biofísicos y de amenazas y riesgos.

De acuerdo con la información obtenida en la UTOT (Unión Temporal para Ordenamiento Territorial del Guaviare), entidad encargada de revisar y ajustar los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios del Guaviare, La información existente sobre cartografías generadas por diferentes instituciones presenta inconsistencias, en términos de ajustes de límites y para el caso de las zonificaciones de vocación y uso de las tierras, mapas generados por el IGAC, se debe realizar un arreglo, que consiste en ajustar la propuesta del IGAC a las necesidades y objetivos locales, entre ellos la visión integral y no exclusivamente de criterios de usos agropecuarios. Se espera para fines de enero o febrero disponer de esta información.



Bibliografía

- East** Yard Communities. (2010). *Impactos acumulativos: Recomendación de zonas de agotamiento para la protección del medio ambiente y usos incompatibles del suelo*. Disponible en http://eycej.org/wp-content/uploads/2012/09/PB_Cumulative-Impacts_v2_sp.pdf.
- Gobernación** del Guaviare. (2016). *Plan de desarrollo departamental (2016 – 2019)*. San José del Guaviare: Gobernación del Guaviare.
- IDEAM**, MADS, UDCA (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá: IDEAM, MADS, UDCA; p.188.
- IFC** (International Finance Corporation). (2015). *Manual de buena práctica, evaluación y gestión de impactos acumulativos: Guía para el sector privado en mercados emergentes*. Whashington: World Bank Group.
- IGAC**. (2013). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras*. Departamento de Guaviare. Escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- Méndez** V. E. (1999). Criterios clave para el ordenamiento territorial-ambiental. *Espacio y desarrollo* 11.
- Quintero**, J. D. (2013). *Seminario Internacional: 'Hacia la institucionalización y aplicación de la EAE en el Perú'*. Lima: Ministerio del Ambiente. Disponible en http://www.dar.org.pe/archivos/1_MARCO_EAE.pdf
- Secretaría** Técnica COT Nacional. (2013). *Lineamientos para el proceso de ordenamiento territorial departamental*.



Anexos (Mapas)

Anexos (MAPAS)

1. Mapa Base

Objetivo del mapa

Visualizar de forma gráfica bidimensional el conjunto de características del relieve y de los elementos físicos o aparentes del área geográfica del proyecto, con representaciones cartográficas de elementos puntuales, lineales y poligonales y sus respectivas etiquetas.

El relieve se representó por curvas de nivel y la representación de la pendiente con sombreado derivado del modelo de elevación del terreno. Entre los rasgos hidrográficos, caños, ríos y quebradas se representaron con elementos lineales; las lagunas y ríos se representaron con elementos poligonales con un ancho mayor. Entre los rasgos culturales, la red vial está representada por líneas; las escuelas, caseríos y otros están representados por elementos puntuales y las áreas urbanas por elementos poligonales. Los límites administrativos se representan por elementos lineales y, finalmente, el estado legal del territorio está representado por elementos poligonales en achurado.

Este mapa base está incluido en todos los mapas temáticos generados en el proyecto.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare. 2014. Modelo de sombras Modelo Digital de Superficie ALOS World 3D 12,5 metros de Resolución
- Mapa veredal, Gobernación del Guaviare. Escala 1:100.000. 2014

Cartografía temática

- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Mapa del estado legal del territorio. Escala 1:100.000. 2015

Escala del mapa: 1:100.000

2. Mapa del Área del Proyecto

Objetivo del mapa

El mapa representa las veredas en las cuales se realizaron jornadas de socialización del proyecto y vinculación de campesinos. El área del proyecto resalta las veredas en las cuales los usuarios manifestaron estar localizadas las fincas vinculadas al proyecto.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014

- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare. 2014. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Mapa de estado legal del territorio. Escala 1:100.000. 2015

Cartografía temática

- Capa espacial del área de influencia del proyecto, generada por la agregación de veredas en las que los beneficiarios manifiestan tener las fincas vinculadas al proyecto.

Escala del mapa: 1:100.000

3. Mapa de Estado Legal del Territorio

Objetivo del mapa

El mapa muestra las figuras de estado legal del territorio en el área del proyecto.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- Mapa de estado legal del territorio para la zonificación y ordenamiento ambiental de la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013. Escala 1:100.000
- Zonificación de la Reserva Forestal de ley 2ª de 1959 de la Amazonia según resolución 1925 de 2013; Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014 Escala 1:100.000

Escala del mapa: 1:100.000

4. Mapa de Suelos

Objetivo del mapa

El mapa muestra las unidades de suelos presentes en el área del proyecto para cada uno de los paisajes fisiográficos.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Mapa geopedológico. Escala 1:100.000. 2014

Escala del mapa: 1:100.000

5. Mapa de Precipitación

Objetivo del mapa

El mapa muestra la distribución geográfica de la precipitación anual multianual (1983 a 2012) en el área del proyecto.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2016. Mapa de precipitación Capa espacial generada por el proyecto en el año 2017.

Capa espacial generada por el proyecto Capa Raster con celdas de 4km X 4km

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir de los datos diarios de la red climatológica del IDEAM durante el periodo 1983 - 2012. Se realizó la interpolación espacial para inferir el valor de la precipitación anual multianual en el área de análisis a partir de los valores puntuales de las estaciones usando el método IDW (inverso de la distancia al cuadrado). El resultado del geoprocesamiento arrojó una capa en formato raster en donde la variación de la precipitación se muestra de forma continua y muestra un valor probable de precipitación anual multianual en cada una de las celdas en la que se dividió el área de estudio.

6. Mapa de Cuencas Hidrográficas

Objetivo del mapa

El mapa muestra las cuencas hidrográficas del área de estudio.

Cartografía base

Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014 Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

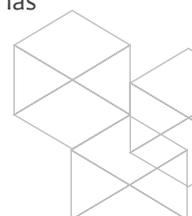
- El proyecto, 2015. Mapa de cuencas hidrográficas. Capa espacial generada por el proyecto en el año 2015.

Capa espacial generada por el proyecto Capa vectorial con geometría de polígono.

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir del Modelo Digital de Elevación DEM, ASTER, 30m creado por la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón a partir de pares estereoscópicos ASTER.

Se realizó un ajuste en las imperfecciones de la superficie del DEM en cuanto a las celdas de depresión, con el fin de preparar la capa para la determinación de la dirección del flujo; luego se realizó un análisis de dirección del flujo de acuerdo con la dirección descendente que sigue el agua entre las celdas para en seguida generar la acumulación de flujo en cada celda, es decir, el número de celdas 'aguas arriba' que vierten agua en cada una de las



celdas. Con estas capas espaciales intermedias se realizó la identificación de celdas que definen la red de drenaje; se encuentra que el umbral de 10.000 era el más apropiado para generar la red de drenaje, es decir, que la red de drenaje resultante está conformada por celdas que reciben agua de 10.000 celdas aguas arriba. Finalmente se realizó la delineación de las cuencas para la red de drenaje obtenida.

Para asignar el nombre de las cuencas hidrográficas se retomó el nombre del drenaje principal, de acuerdo con la cartografía básica del IGAC.

Escala del mapa: 1:100.000

7. Mapa de NBI Veredas

Objetivo del mapa

El mapa muestra el porcentaje de hogares de los usuarios con necesidades básicas insatisfechas, NBI, por vereda, de acuerdo con los cálculos individuales por usuario realizados para el área del proyecto a partir de los datos obtenidos en la encuesta predial siguiendo la metodología del DANE.

Este fue generado mediante superposición cartográfica del mapa de veredas suministrado por la Gobernación del Guaviare y la georreferenciación de las viviendas de los beneficiarios.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2015. Mapa de Necesidades Básicas insatisfechas, NBI, por vereda

Capa espacial generada por el proyecto en el año 2016.

Capa espacial generada por el proyecto Capa vectorial con geometría de polígono.

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir de la unión espacial de los resultados de necesidades básicas insatisfechas, NBI, para cada usuario representados por un par de coordenadas geográficas obtenidas en la georeferenciación, información que se trasladó al mapa veredal para obtener el porcentaje de hogares de los usuarios con necesidades básicas insatisfechas por vereda. Este fue generado mediante superposición cartográfica del mapa de veredas suministrado por la Gobernación del Guaviare y la georreferenciación de las viviendas de los beneficiarios.

Escala del mapa 1:100.000

8. Mapa de Conflicto de Uso del Suelo

Objetivo del mapa

El mapa permite evidenciar el tipo y grado de conflicto de uso del suelo en el área del proyecto, usando la metodología establecida por la UPRA, ajustada a las condiciones locales.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2017. Mapa de conflictos de uso del suelo.

Capa espacial generada por el proyecto Capa vectorial con geometría de polígono.

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir del uso actual y de la propuesta de manejo. Se identificarán posibles conflictos de uso de la tierra. Se propone usar la metodología establecida por la UPRA, ajustada a las condiciones locales.

Teniendo en cuenta los resultados de análisis entre las cartografías de zonificaciones propuestas, de estado legal del territorio y de la cobertura (más reciente, correspondiente al 2014) se consideraron cinco clases de conflicto:

- *Sin conflicto de uso:* corresponden a aquellas áreas con cobertura natural y a aquellas cuya vocación y uso potencial es similar al que se establece. Por ejemplo suelos aptos para agricultura, en uso agrícola. Se estima un 63 % de la zona sin conflicto, pero es probable que el estado actual de las coberturas sea diferente, debido a deforestación que se reporta ha aumentado en los últimos años.
- *Con conflicto bajo de subuso:* aquellas áreas donde aunque el potencial es agrícola se establecen usos de pastoreo. Aunque es insignificante el área, menor al 1 %, debe considerarse ya que en términos de planeación de producción de alimentos deberían usarse las mejores tierras con vocación agrícola para cultivos, pues estas son escasas.
- *Con conflicto bajo:* se proponen aquellas zonas de cultivos y pastos en suelos con vocación agrosilvopastoril pero determinantes en la conservación de humedales. En conflicto se determina en este caso no por el uso sino por el impacto de las prácticas en relación con los recursos hídricos. Se considera que un 23,5 % de la zona de estudio presenta este tipo de conflicto.



- *Con conflicto moderado*: se proponen las zonas en usos agrícolas o ganaderos, en zonas con vocación y potencial forestal. Se estima cerca de un 12 % de la zona con este tipo de conflicto.

Escala del mapa: 1:100.000

9. Mapa de Escenarios de Deforestación

Objetivo del mapa

Este mapa identifica las áreas con procesos de deforestación recientes.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2014. Mapa de Escenarios de deforestación.

Capa espacial generada por el proyecto Capa Raster con celdas de 30m X 30m

Geoproceso para obtener la capa espacial

La capa se generó a partir de las variables de accesibilidad vial, entendiendo que las áreas más cercanas a los ejes viales constituyen focos de deforestación y la variable de deforestación reciente como las áreas de bosques pérdidas durante el periodo 2012 a 2014, asumiendo que en estas veredas los procesos de deforestación identificados aún continúan activos.

El criterio se calculó mediante la suma de las ponderaciones de las variables de accesibilidad vial y deforestación reciente, cada uno con el 50 % de importancia, mediante la herramienta Weighted Sum de Arcgis en la cual se realiza una suma ponderada de las variables ingresadas.

Escala del mapa 1:100.000

10. Mapa de Sostenibilidad de la Producción

Objetivo del mapa

Este mapa evalúa la sostenibilidad de la producción entendida como la posibilidad de compensar a los campesinos por conservar los bosques mediante la implementación de modelos sostenibles de producción, que en el mediano y largo plazo mejore las condiciones económicas de la población.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2014. Mapa de conflictos de uso del suelo sostenibilidad de la producción.

Capa espacial generada por el proyecto Capa Raster con celdas de 4km X 4km

Geoproceso para obtener la capa espacial

La capa que evalúa la sostenibilidad de la producción agroforestal y forestal se obtuvo teniendo en cuenta tres variables, el potencial desarrollo, la continuidad de los procesos institucionales y la facilidad de la accesibilidad vial. Cada una de estas variables se implementó teniendo en cuenta una o dos capas. Dichas capas espaciales se convirtieron a formato raster y cada celda se valoró en una escala de 0 a 6; siendo 6 el valor más favorable para la sostenibilidad de la producción.

El criterio se calculó mediante la suma de las ponderaciones de las variables de potencial de desarrollo agroforestal y forestal, proyección institucional y accesibilidad, cada uno con el 33,33% de importancia, mediante la herramienta Weighted Sum de Arcgis en la cual se realiza una suma ponderada de las variables ingresadas.

Escala del mapa 1:100.000

11. Mapa de Ecosistemas

Objetivo del mapa

Este mapa muestra los ecosistemas presentes en la zona de estudio. De acuerdo con la fuente de información usada, el ecosistema es un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos en su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional materializada en un territorio, la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad en sus condiciones biofísicas y antrópicas.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

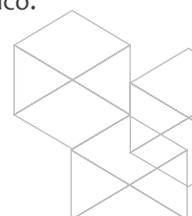
- IDEAM, et al, 2015. Convenio marco No. 4206 de 2011 MADS, IDEAM, IAVH, SINCHI, INVEMAR, IIAP, PNN, IGAC. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000

Escala del mapa 1:100.000

12. Mapa de Áreas Hidrográficas

Objetivo del mapa

El mapa muestra las áreas, zonas y sub zonas hidrográficas a las cuales hacen parte las veredas vinculadas al proyecto con el fin de clasificar y priorizar las unidades de análisis como referente para la ordenación del territorio y gestión del recurso hídrico en un escenario de cambio climático.



Cartografía base

Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- IDEAM. Mapa de zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Escala 1: 500.000. 2013

Escala del mapa 1:500.000

13. Zonificación Ambiental

Objetivo del mapa

El mapa permite evidenciar el tipo y grado de conflicto de uso del suelo en el área del proyecto, usando la metodología establecida por la UPRA, ajustada a las condiciones locales.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2017. Mapa de zonificación ambiental propuesta

Capa espacial generada por el proyecto Capa vectorial con geometría de polígono.

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir la zonificación preliminar, del uso actual y de los conflictos. Las clases propuestas de zonificación se agrupan en las clases: conservación, producción con protección, reconversión y producción.

La zonificación preliminar se generó teniendo en cuenta la información disponible oficial tanto de estado legal de territorio, como de zonificaciones determinadas por las diferentes instituciones (CDA, departamento y municipios), se integra la información cartográfica con el objeto de obtener una propuesta de zonificación preliminar de vocación y protección potencial.

Los geoprocesos fueron derivados de superposiciones cartográficas de las capas, intersecciones, recortes y reclasificaciones de las capas intermedias y finales.

Escala del mapa 1:100.000

14. Mapa de Temperatura

Objetivo del mapa

El mapa muestra la distribución geográfica de la temperatura anual multianual (1983 a 2012) en área del proyecto.

Cartografía base

- Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
- Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2016. Mapa de temperatura

Capa espacial generada por el proyecto en el año 2017

Capa espacial generada por el proyecto Capa Raster con celdas de 4km X 4km

Geoproceso para obtener la capa espacial

Esta capa espacial se obtuvo a partir de los datos diarios de la red climatológica del IDEAM durante el periodo 1983 - 2012. Se realizó la interpolación espacial para inferir el valor de la temperatura anual multianual en el área de análisis a partir de los valores puntuales de las estaciones usando el método IDW (inverso de la distancia al cuadrado). El resultado del geoprocesamiento arrojó una capa en formato raster en donde la variación de la temperatura se muestra de forma continua y muestra un valor probable de temperatura anual multianual en cada una de las celdas en la que se dividió el área de estudio.

15. Mapa Predial

Objetivo del mapa

El mapa muestra la distribución geográfica de los predios vinculados al proyecto.

Cartografía base

Cartografía básica del IGAC. Escala 1:100.000. 2014
Escuelas y caseríos, Gobernación del Guaviare, 2014

Cartografía temática

- El proyecto, 2017. Mapas prediales

Capa espacial generada por el proyecto en el año 2017

Capa espacial generada por el proyecto. Capa vectorial con geometría de polígono.

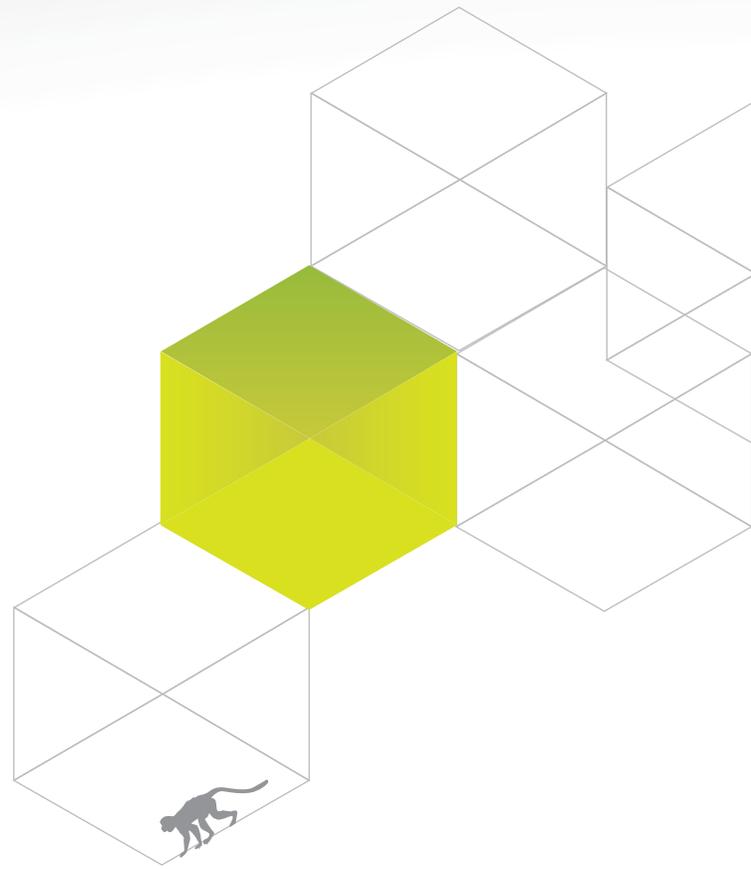
Proceso para obtener la capa espacial

En talleres de cartografía social los usuarios delimitan los predios vinculados al proyecto en un espacio mapa previa descripción del predio y sus linderos en un formato. El espacio mapa contiene una imagen satelital reciente, los vectores de cartografía base ajustados a la imagen, y puntos georeferenciados al interior de los predios. El ejercicio se realiza tanto con cartografía análoga como digital.

Escala del mapa

Al ser cartografía social el mapa resultante no tiene escala definida, sin embargo, los insumos cartográficos usados son escala 1:25.000.





El departamento del Guaviare y la Reserva Forestal de Ley 2ª/59 se caracterizan por presentar áreas de considerable tamaño conservadas pero también importantes áreas deforestadas. En la actualidad se presenta un reemplazo rápido de los bosques por una nueva matriz dominada y definida por el uso humano, principalmente en el borde entre la zona sustraída y la zona de reserva forestal de ley 2ª/59. La matriz dominante del paisaje son pastos dentro de los cuales se encuentran embebidos **fragmentos de bosque o relictos** caracterizados por una repentina transición del bosque a zonas de cultivos u otros hábitats modificados. No obstante, estos **relictos** presentan condiciones favorables como “pasaderos” para movimientos de fauna y de esta forma ayudan a mantener algún grado de **conectividad** del ecosistema; albergan poblaciones de **especies útiles** de importancia forestal, **maderables y no maderables** para la economía del departamento; son una **reserva de carbono** valiosa para la regulación climática regional; aportan a la **regulación hídrica** de las lluvias y afectan de manera positiva los **sistemas de producción local**.

