



Abril 15, 2020

Esta publicación fue elaborada para el macroproyecto Mojana, Clima y Vida financiado por El Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés). Proyecto liderado en Colombia por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y el Fondo de Adaptación.

**PRODUCTO VII
INFORME TÉCNICO ANALÍTICO DESCRIBIENDO LOS MÉTODOS Y
RESULTADOS DE LOS MODELOS PARA PRIORIZAR ÁREAS DE
REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN.**

Abril 15, 2020

Esta publicación fue elaborada para el macroproyecto Mojana, Clima y Vida financiado por El Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés). Proyecto liderado en Colombia por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y el Fondo de Adaptación.



Equipo Instituto Humboldt

Wilson Ramírez¹
Supervisor

Paola Isaacs¹
Ronald Ayazo¹
Kludia Cardenas²
Mauricio Aguilar¹
Henry Huertas²
Yenifer Herrera²
Elaboración

¹Programa Gestión Territorial de la Biodiversidad

²Programa de Ciencias Sociales y Saberes de la Biodiversidad

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Sede Principal: Calle28A#15-09 Bogotá, D.C., Colombia | PBX: (57)(1) 3202767 | NIT 820000142-2





Informe Técnico Analítico describiendo los métodos y resultados de los modelos para priorizar áreas de rehabilitación y conservación. Informe final. Isaacs-Cubides, P. *et al.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2020

50 p.: il.; 28 x 21.5 cm.

Incluye bibliografía, tablas, mapas.

1. Zapal. – 2. Ciénagas. – 3. Ríos. – 4. Caños. – 5. Quebradas – 6. Restauración ecológica – 7. Mojana – 8 Humedales – 9. Rehabilitación – 10. Servicio ecosistémico – 11. Análisis espacial 12. Restauración del paisaje 13. Conectividad 14. Fragmentación

Citar este documento:

Isaacs-Cubides, P., *et al.* (2020). Informe Técnico Analítico describiendo los métodos y resultados de los modelos para priorizar áreas de rehabilitación y conservación. Informe final. Contrato No. 19-206. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Abril 15, 2020

Esta publicación fue elaborada para el macroproyecto Mojana, Clima y Vida financiado por El Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés). Proyecto liderado en Colombia por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y el Fondo de Adaptación.

MÉTODOS Y RESULTADOS DE LOS MODELOS PARA PRIORIZAR ÁREAS DE REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN

Producto No. 7 de la Carta de Acuerdo No. 19-206 suscrita entre el Humboldt y PNUD

Objeto: Brindar acompañamiento y asesoría técnica al proyecto "Mejorar las prácticas de gestión del agua resilientes al cambio climático para las comunidades vulnerables en La Mojana", en su actividad 2.2 "Incrementar la capacidad adaptativa de ecosistemas naturales y de medios de vida basados en los ecosistemas" en su fase I o de planificación.

Foto de Portada: La vida acuática (Credito: Paola Isaacs Cubides / Instituto Humboldt)

Abril 15, 2020

Esta publicación fue elaborada para el macroproyecto Mojana, Clima y Vida financiado por El Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés). Proyecto liderado en Colombia por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y el Fondo de Adaptación.

CONTENIDO

Acronimos	2
Resumen ejecutivo	1
Introducción	2
LA RESTAURACIÓN FORESTAL DEL PAISAJE, COMO ESCENARIO ESPACIAL.	2
MIRADA DE LA RESTAURACIÓN DEL PAISAJE Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.	4
Metodología	6
IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE RESTAURACIÓN	6
CONECTIVIDAD	11
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	12
<i>Alimento</i>	13
<i>Polinización</i>	14
<i>Almacenamiento de carbono</i>	14
<i>Oferta hídrica</i>	15
<i>Regulación hídrica</i>	15
ZONIFICACIÓN FINAL	16
Resultados	17

ACRONIMOS

CAR	Corporación Autónoma Regional
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORANTIOQUIA	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
CORPOMOJANA	Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge
CSV	Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar
CVS	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge
DNP	Departamento Nacional de Planeación
Minambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial
SIB Colombia	Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SINAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del proyecto, *“Mejorar las prácticas de gestión del agua resilientes al cambio climático para las comunidades vulnerables en La Mojana”* y sus acciones de ejecución, específicamente derivadas de su actividad 2.2 *“Incrementar la capacidad adaptativa de ecosistemas naturales y de medios de vida basados en los ecosistemas”*, se elabora este informe, con datos recopilados de la información espacial disponible y empleada para identificar estrategias de restauración del paisaje que incluya las áreas de preservación, las áreas de restaurar y las áreas para reactivar la conectividad funcional, que permita enriquecer las condiciones ecológicas de la región y mejorar la prestación de los servicios ecosistémicos.

“Reducir el riesgo y vulnerabilidad al cambio climático basada en la rehabilitación de ecosistemas acuáticos y el suministro de servicios ecosistémicos, es un enfoque práctico que busca preparar y fortalecer a las comunidades haciéndolas más conscientes de su entorno. Reconociendo que mantener la naturaleza en buen estado no es solo bueno para la biodiversidad, sino que además les permite vivir más seguros ante un

SECCIÓN NO. I

INTRODUCCIÓN

En el marco del programa *Mojana, Clima y Vida*, se convocó al Instituto Humboldt para desarrollar un Plan de Restauración Socioecológico Integral, que sería implementado durante 8 años en la región de La Mojana, el cual debe incluir la zonificación y priorización de áreas para la restauración, un portafolio de acciones de restauración y un programa de ejecución basado en el diagnóstico de los factores que degradan sus macrohabitats y la vulnerabilidad de las comunidades sociales frente al cambio climático y en específico al desabastecimiento por las inundaciones y las sequías.

La Restauración Forestal del Paisaje (de ahora en adelante RFP) tiene como objetivo recuperar la funcionalidad ecológica y fortalecer los medios de vida humanos en regiones que ya están deforestadas y degradadas, combinando una variedad de estrategias que incluyen la restauración ecológica de áreas críticas, prácticas sostenibles en tierras productivas, y el aumento de la cobertura vegetal en todo el paisaje (UICN y WRI, 2014).

Asimismo, dentro de las iniciativas internacionales para ejecutar la RFP, se encuentra el objetivo 15 de las Metas de Aichi en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), con la finalidad de restaurar el 15% de los ecosistemas terrestres para 2020 (TNC, 2017). Adicionalmente, en el contexto del Acuerdo de París en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se firmaron compromisos voluntarios como el Desafío de Bonn (2011), cuya meta es restaurar 350 millones de hectáreas para el 2030. En paralelo, a través de la Iniciativa 20x20, los países de América Latina tienen como objetivo lograr la restauración de 20 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2020 (WRI, 2016).

Sumado a esto, entre los compromisos del Estado colombiano el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la equidad”, tiene la meta de duplicar las hectáreas con sistemas productivos sostenibles y de conservación, pasando de 701 mil hectáreas a 1.4 millones de hectáreas a través de la restauración, conservación, reconversión productiva y manejo forestal sostenible.

La restauración forestal del paisaje, como escenario espacial.

En la región de La Mojana se ha venido presentando un elevado estado de degradación como producto del uso inadecuado del suelo. Actividades como la ganadería y el cultivo de arroz, ha transformado significativamente la integridad de las coberturas naturales, pero en especial han alterado las condiciones originales de los humedales, lo que ha conllevado adicionalmente a que se presenten grandes emergencias por inundaciones. Asimismo, se viene presentando un elevado estado de contaminación de las aguas y pérdida de los servicios ecosistémicos de los que gozan las comunidades locales. Este escenario típica los modelos de fragmentación y destrucción del hábitat producto del aumento de la colonización: pérdida de áreas naturales, separación entre las coberturas remanentes,

pérdida de diversidad y riesgo para la sobrevivencia de las especies, aislando poblaciones y exponiéndolas a mayor riesgo de extinción (Forman 1995, Murcia 1995).

En este escenario de transformación, tradicionalmente se ha venido planteando el establecimiento de áreas protegidas, para mantener las áreas naturales. Igualmente, dichas áreas deben estar conectadas y tener un tamaño grande para mantener las poblaciones y comunidades que habitan. Asimismo, se hace necesario integrar dentro de los procesos de conservación y manejo de estas áreas, a las comunidades locales y sus métodos de sobrevivencia, con el fin de garantizar el éxito y la viabilidad a largo plazo de dicha estrategia (Noss 1991, Noss y Cooperrider 1994, Bennett 1999, Theobald et al. 2006).

En este diseño, además de presentar áreas de preservación estricta, se proponen zonas de transición para su uso de acuerdo con su aptitud y la restauración de áreas que se han degradado. Para que se produzca esta viabilidad con las comunidades, se requiere una zona de amortiguamiento, que es la intersección de la cobertura presente en el núcleo con la matriz (en este caso, áreas intervenidas). Esta área debe complementarse con sistemas de producción poco abruptos o sostenibles (es decir, silvicultura, ecoturismo) que permitan proporcionar un beneficio económico a la comunidad (Simberloff 1998), que también aumentan el área efectiva del área protegida y protegen de cierta manera el borde del bosque. Además, se debe considerar un área de conexión o unión entre ecosistemas con otras áreas protegidas (Noss y Cooperrider 1994) y diferentes estrategias para el uso sostenible y los productos derivados del bosque, lo que permite la rehabilitación de estas condiciones abruptas en el territorio.

En este sentido, la conectividad surge como una estrategia para facilitar la dispersión y los movimientos de especies en el paisaje (Bennett 1999), de acuerdo con la calidad, la proximidad entre áreas (Forman 1995) y los elementos que facilitan o evitan los movimientos entre parches, de acuerdo con sus especies, comunidades y procesos ecológicos (Noss 1991, Noss y Cooperrider 1994, Bennett 1999).

Las conexiones en el paisaje se pueden evaluar en términos de composición y configuración del paisaje, a lo que se denomina conectividad estructural, la cual es determinada por cómo está dispuesto el arreglo espacial de las coberturas, es decir cuáles son los elementos del paisaje y como están distribuidos en el espacio. Estos se ven influidos por factores como continuidad, extensión y longitud de las coberturas, distancia a ser cruzada entre estos y la presencia de caminos alternos o redes (Bennett 1999). Igualmente, la conectividad se aborda en términos funcionales, definida de acuerdo a las necesidades de las especies que van a usar la conexión; esta se ve afectada por la escala a la cual las especies perciben y se mueven dentro del ambiente, sus requerimientos de hábitat y el grado de especialización, tolerancia a hábitats disturbados, edad y duración del movimiento de dispersión y la respuesta de las especies a depredadores y competidores (Bennett 1999, Theobald 2006).

El abordaje de la conectividad, se convierte en un eje transversal en la conservación del territorio, que permite diseñar paisajes funcionales para la biodiversidad y que a su vez se articula a actividades productivas sostenibles y preservación de las áreas naturales que

actúan como núcleos de hábitat. Igualmente, permite identificar áreas para la restauración en aquellas zonas donde se han perdido las áreas naturales y sus servicios ecosistémicos (Isaacs *et al.* 2017).

La restauración es una herramienta que busca la reposición de los valores, bienes y servicios que las comunidades locales han perdido, mediante el análisis de los problemas, de manera integral usando diversas técnicas que provienen de diferentes áreas del conocimiento (Aguilar-Garavito y Ramírez 2014). Dentro del análisis de la restauración y la definición de prioridades en un territorio, surgen herramientas como el análisis espacial, el cual permite identificar los ecosistemas degradados, caracterizar y visualizar los disturbios, definir unidades de manejo, diagnosticar el grado de degradación y priorizar las áreas disturbadas (Aguilar-Garavito e Isaacs 2014). Asimismo, el análisis espacial se constituye como el pilar para la definición de las estrategias de manejo de riesgos y amenazas, para seleccionar y ubicar las técnicas de restauración en el territorio y para diseñar e implementar el proceso de monitoreo (seguimiento y evaluación) de las mismas a lo largo del tiempo (UICN 2011, Isaacs y Ariza 2015).

Dentro de las técnicas para definir áreas de restauración o de manejo del territorio, se encuentra la evaluación del patrón que tienen las coberturas, con el fin de identificar zonas degradadas, así como la presencia y extensión de disturbios. Esto se hace a través del análisis de la composición (asociada con los tipos de coberturas presentes en la zona y su abundancia) y la configuración asociada al arreglo, forma, tamaño y relaciones entre coberturas (McGarigal *et al.* 2012). Esta evaluación puede otorgar dos utilidades, por un lado, definir prioridades de restauración de acuerdo con las tipologías de disturbios presentes, y por otra parte permite definir las técnicas y estrategias de restauración a implementar de acuerdo con la información proveniente del diagnóstico de restauración (De La Cruz & Maestre 2013).

Asimismo, las herramientas e insumos a nivel espacial, permiten realizar un análisis de priorización de zonas específicas para la restauración, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio (Franco 2011). Este análisis integra distintos insumos cartográficos, los cuales son ponderados de acuerdo al objetivo de la restauración y de esta manera, se seleccionan áreas que cumplan con los criterios establecidos durante el proyecto de restauración (Geneletti 2010, Isaacs y Ariza 2015).

Evaluar estos elementos espaciales es insumo para realizar una zonificación del área a restaurar en especial para grandes territorios, siendo una buena herramienta para la planificación de la caracterización y de la restauración propiamente dicha (GREUNAL 2010).

Mirada de la restauración del paisaje y los servicios ecosistémicos.

Nuestra propuesta a desarrollar para la restauración del paisaje en la región de la Mojana, tiene su origen desde lo planteado en el Plan Nacional de Restauración, el cual considera tres enfoques para la implementación de acciones de restauración de acuerdo a lo propuesto por la SER (2005): la restauración ecológica, la rehabilitación y la recuperación,

que dependen del tipo de intervención y degradación del área y del objetivo de restauración (MADS 2015).

Los Servicios Ecosistémicos (SE) se entienden como una contribución de la estructura y la función del ecosistema (en combinación con otras entradas) al bienestar humano. Esto implica que la humanidad depende del funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el capital natural que son la base para un flujo constante de ES de la naturaleza a la sociedad. Por lo tanto, las SE tienen el potencial de convertirse en una herramienta importante para la toma de decisiones y políticas a nivel global, nacional, regional y local (Burkhard y Maes 2017).

El mapeo de los servicios de los ecosistemas, por otro lado, es esencial para comprender cómo los ecosistemas contribuyen al bienestar humano y para apoyar políticas que tienen un impacto en los recursos naturales. Los mapas son herramientas obligatorias para la planificación del paisaje, la gestión de los recursos ambientales y la optimización (espacial) del uso de la tierra (Burkhard y Maes 2017). Debido a que en el país todavía tenemos poca información sobre el campo de los servicios de los ecosistemas, en este trabajo incluimos una metodología para identificar la acumulación de servicios desde una perspectiva espacial y los indicadores identificados con la cartografía disponible.



SECCIÓN NO. 2

METODOLOGÍA

Inicialmente definimos humedal como “aquellos ecosistemas que, debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas, presentan acumulación de agua (temporal o permanentemente), dando lugar a un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones, estableciendo así dinámicas acopladas e interactuantes con flujos económicos y socioculturales que operan alrededor y a distintas escalas” (Cortés y Estupiñán 2016). Para el presente trabajo, se definió como área de estudio la zona correspondiente a la depresión Momposina, la cual incluye 34 municipios de los departamentos de Antioquia, Cesar, Montería, Sucre y Bolívar (Figura 1), correspondientes a las zonas hidrográficas Bajo Magdalena- Cauca -San Jorge, Nechí, Medio Magdalena, Bajo Magdalena. Una vez teniendo el contexto paisajístico de la zona, posteriormente se realizó un ejercicio más detallado en la región de La Mojana y los cuatro municipios priorizados para el presente proyecto.

La metodología planteada en este aparte, presenta el análisis espacial multicriterio desarrollado para definir las oportunidades de restauración. Se tomaron entonces tres componentes: 1) la restauración, 2) la conectividad y 3) los servicios ecosistémicos, con el fin de definir una zonificación del territorio de acuerdo a las tipologías de disturbio identificadas en el paisaje. Se presenta un énfasis hacia la gestión del riesgo, entendido como aquellas áreas en donde se presenta pérdida de servicios ecosistémicos por el uso inadecuado del suelo de acuerdo a su aptitud (Figura 1).

Identificación de oportunidades de restauración

Para la identificación de prioridades de restauración inicialmente se tomaron diferentes insumos espaciales con base en elementos de la composición y configuración, desde la mirada de las métricas del paisaje. Se incluyeron especialmente considerando el tipo de cobertura, el tamaño y la forma (relación perímetro-área) de los fragmentos de áreas naturales, su estructura y el grado de fragmentación entre ellos (Mcgarigal et al. 2012), para construir un índice de integridad del paisaje para la región de la depresión Momposina. Escogemos una especie “objetivo” de grandes rangos de dispersión, como usuarios de esa área y para poder identificar áreas naturales con mayor calidad de hábitat. Esto es un insumo para la conectividad a modelar posteriormente ya que funciona como núcleos aquellas zonas que son fuente de mayor biodiversidad e integridad del paisaje. Por su parte, identificar estas áreas naturales también es importante para definir en donde hay acumulación de servicios ecosistémicos (SE), a través de un ejercicio de mapeo de hot spots de SE. Partiendo de las áreas en mejor estado, se proponen estrategias que permitan 1) preservar las áreas naturales como núcleos y hot spots de servicios ecosistémicos, 2) reactivar la conectividad funcional, 3) proponer transiciones en usos de la tierra, 4) enriquecer el paisaje y definir áreas de restauración. En este sentido, se incluye un análisis desde la transición terrestre – anfibia – acuática.

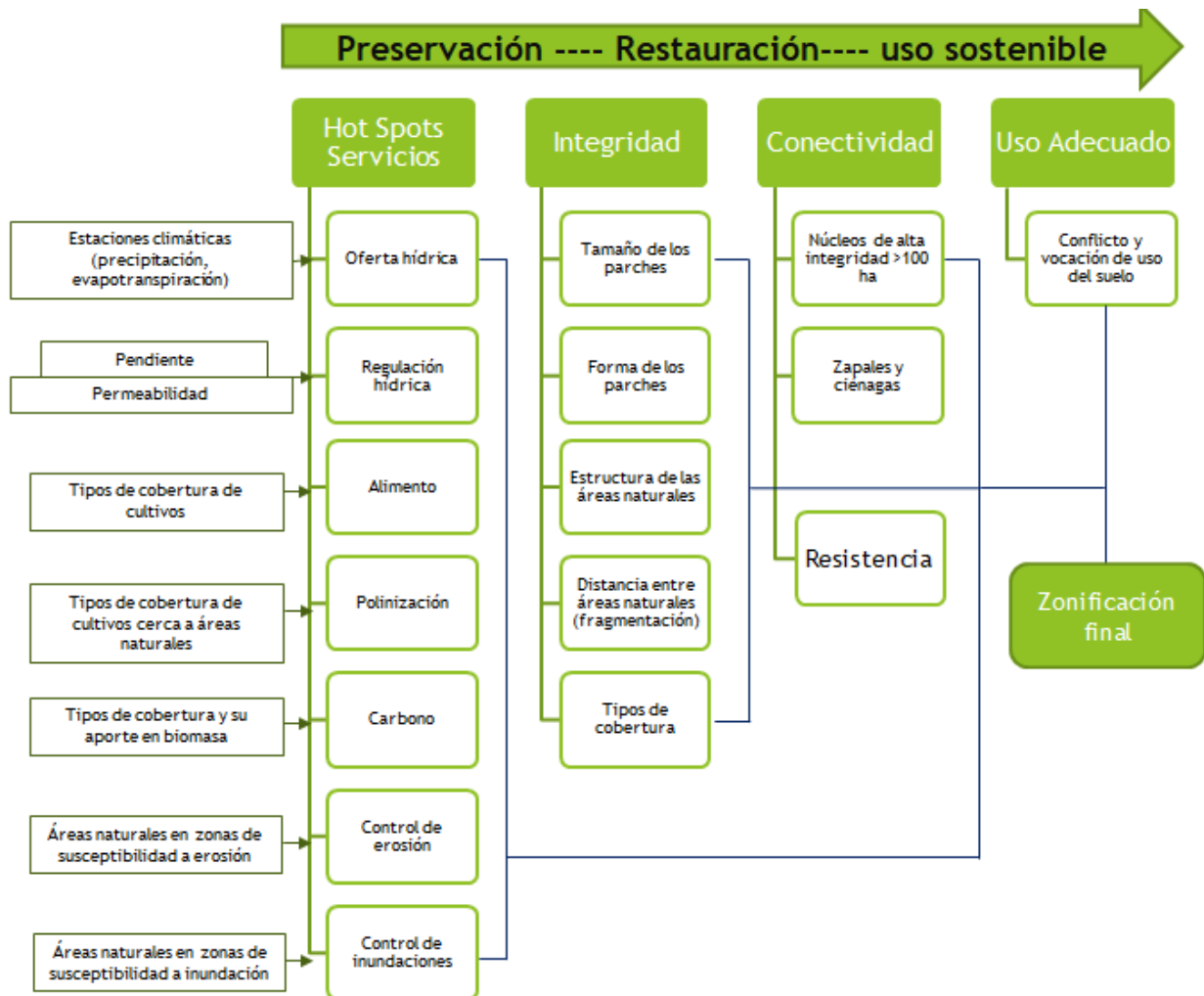


Figura 1. Diagrama de los componentes empleados para la zonificación de oportunidades de restauración del paisaje

Índice de integridad de las áreas naturales

El análisis multicriterio desarrollado, empleó una valoración de los atributos presentes en el paisaje, asignando un valor de menor integridad, para aquellas áreas más intervenidas, y de mayor integridad para áreas más preservadas. En primer lugar, se empleó la capa cobertura Corine Landcover del año 2015 (Ideam 2015) para el análisis en la zona de la Depresión Momposina y posteriormente este análisis fue más detallado al usar el mapa de coberturas a escala 1:25.000 para la región de La Mojana. En este caso el tipo de cobertura y el tamaño del parche, se ha empleado como indicador indirecto de áreas en mayor o menor estado de preservación y por tanto de mayor acumulación de biodiversidad (Silva-Angelier 2016).

Con respecto a los tipos de cobertura, se asignó mayor valor a aquellas que presentan mayor intervención y que son más hostiles para la presencia de especies. Áreas de bosques riparios, bosques densos, herbazales densos inundables y lo que el mapa de

cobertura denomina como “pantanos” son los que son mayor estado de preservación presentan. Las áreas de monocultivos, como los cereales, pastos limpios, presentan mayor intervención y por tanto, menor estado de conservación. En un punto intermedio se encuentran los cultivos y pastos enmalezados con espacios naturales, que son más cercanos a tipos de producción de agricultura familiar y de subsistencia y que aún pueden mantener ciertos elementos del paisaje que no están en un elevado estado de transformación (tabla I).

Tabla 1. Categorización de los atributos de tamaño de los parches y el valor asignado.

Cobertura	valor
Territorios artificializados, tierras desnudas y áreas quemadas	10
Cultivos transitorios, cereales, oleaginosas, tubérculos, cultivos permanentes herbáceos, mosaicos de pastos y cultivos, zonas arenosas naturales	7
Pastos limpios	6
Cultivos permanentes arbustivos y arbóreos, pastos arbolados, pastos enmalezados	5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.	4
Cultivos agroforestales, plantaciones	3
Bosque fragmentado, bosque ripario, arbustales, vegetación secundaria, ríos	2
Bosque denso, bosque abierto, herbazal, zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas, canales.	1

A pesar de que aún la distribución de tamaños es poco estudiada y puede resultar subjetiva en su calificación, los valores se agruparon de acuerdo a lo reportado en la bibliografía para soportar poblaciones al largo plazo, en especial de felinos como el jaguar, como especie sombrilla e indicadora de calidad de hábitat (Goncalves 2014, Silva-Angelier 2016, DelTorre et al., 2017). Los jaguares además son especies que dependen fuertemente de las áreas húmedas y habitan zonas de humedales en buen estado de conservación, por lo que al enriquecer el paisaje y rehabilitar su hábitat y el de las presas que consume, se está beneficiando a la condición de biodiversidad y de servicios ecosistémicos. En este caso, hay dos valores críticos: parches menores de 50ha son aquellos que por su reducido tamaño, han perdido la integridad y ya no soportan poblaciones de especies originales; además son parches que son susceptibles al colapso (Silva-Angelier 2016). Parches de más de 100.000 ha son capaces de albergar poblaciones

de grandes mamíferos como jaguares (en una cohorte), las cuales pueden ser usadas como especies sombrilla (DelTorre et al., 2017, Tabla 2). En este caso, al hablar de parches nos referimos a las áreas naturales incluyendo bosques, arbustos y herbazales naturales.

Tabla 2. Categorización de los atributos de tamaño de los parches y el valor asignado.

Tamaños (Ha) (Arias-Alzate et al 2012, Ribeiro et al 2014, Zeller et al 2014, 2016).	valor
<50 Parches que han perdido su integridad	6
>51	5
>100	4
>1000	3
>10000	2
>100000 Puede albergar poblaciones de grandes mamíferos al largo plazo	1

Por su parte, la categorización de acuerdo a la relación perímetro – área (métricas de forma), se calculó empleando la extensión Patch Analyst, para Argis 10x (Rempel 2011) y sus valores fueron recategorizados de acuerdo a la función de “natural breaks”. Estos valores son importantes porque al relacionar el perímetro con el área, también se conoce el estado de intervención de un parche (Tabla 3).

Tabla 3. Categorización de los atributos de forma de los parches y el valor asignado.

Forma División por natural breaks	valor
< 1.2	10
1.2 – 1.5	9
1.5 – 1.7	8
1.7 – 1.9	7

1.9 – 2.1	6
2.1 – 2.5	5
2.5 – 2.7	4
2.7 - 3	3
3 - 5	2
>5	1

La obtención de la capa del índice de fragmentación se realizó a partir de la capa de uso de la tierra, en este caso se toman los sitios pertenecientes a áreas naturales los cuales se intersectan con una malla de puntos distanciados cada 300 metros. Estos puntos resultantes se procesan mediante el cálculo de densidad Kernel, a partir del cual se obtiene valores de densidad altos para zonas naturales y densidad baja para zonas transformadas (Correa-Ayram et al., 2017). Del raster obtenido, se realizó una reclasificación por cuartiles de los valores para obtener umbrales de 1 a 5, siendo 5 las áreas de mayor fragmentación por distancia entre parches (Tabla 4).

Tabla 4. Categorización de los atributos de tamaño de los parches y el valor asignado.

Fragmentación	
División por cuartiles	
Conectado	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy alta	5

Asimismo, se empleó el mapa de Condición Estructural del Bosque (CEB) desarrollado por Hansen et al., (2019). El CEB cuantifica la altura del dosel, la cobertura y el historial de perturbaciones en los trópicos húmedos, en el tiempo transcurrido desde la pérdida del bosque. El índice abarca desde bosques bajos, de dosel abierto, recientemente alterados, hasta rodales altos y cerrados que no han sido alterados desde 2000. Los bosques más altos y densos se encuentran en entornos con clima y suelos favorables, pero con bajos niveles de perturbación natural o humana, lo cual se asocia también a valores altos de biodiversidad. El CEB fue validado contra estimaciones de la diversidad de altura de follaje derivada de datos de lidar (Hansen et al., 2019).

Se construyó un índice de integridad de parches mediante la suma de los atributos, que relaciona el tipo de cobertura, tamaño, la forma, el grado de fragmentación (actúa como distancia) y la estructura, para definir zonas de áreas naturales más degradadas (tamaños pequeños, formas pequeñas y alta fragmentación). Este umbral, definido con base en los cuartiles obtenidos, permite tener áreas de rehabilitación para las áreas naturales pequeñas, de forma regular y distancia mayor, y de restauración ecológica por su cercanía a los parches de bosque más grandes y grandes tamaños.

Conectividad

Para el escenario de conectividad, los modelos fueron desarrollados bajo el concepto de grillas de menor costo, el cual busca identificar las rutas más eficientes de movimiento entre atributos del paisaje, pensado en alguna especie o especies de interés. Esto implica que a medida que el impacto antrópico es más alto hay una mayor resistencia o fricción para la movilidad de los organismos y las áreas en mayor estado de preservación con las menos resistentes y más viables (Adriaensen et al. 2003, McRae et al. 2008). Para los modelos se requiere 1) tanto la grilla de menor costo o también llamada grilla de resistencia y 2) unas áreas núcleo a conectar. En este sentido, la base para conectar corresponde a las zonas secas, zonas húmedas en tiempo húmedo y zonas húmedas permanentes, para garantizar la conectividad en los diferentes periodos climáticos. Tenemos una especial consideración al incluir los máximos de inundación reportados, con el fin de plantear un modelo acorde con la mitigación del riesgo.

Para definir los núcleos, se escogieron los parches de más de 500 ha, que presentaran mayor integridad de acuerdo al mapa explicado anteriormente. Esto incluye las áreas naturales de bosques, arbustales, herbazales inundables, los denominados “pantanos”, canales, ríos, pero también se incluyeron las capas de zapales y ciénagas facilitadas por el PNUD que actúan como núcleos desde lo acuático. Dichos núcleos se consideraron por donde debe pasar la conectividad y que son hábitat para las especies, asumiendo que entre más grande es el núcleo, mayor diversidad alberga. Estos parches son fuente de material de referencia para las estrategias de restauración, además de ser las áreas con mayor acumulación de servicios ecosistémicos y son el punto de partida para garantizar la preservación integral en la zona.

En este caso, asumimos un corredor para grandes felinos, al igual que venimos trabajando el análisis de integridad, con el fin de abarcar los movimientos de otras especies y como se nombró anteriormente, el jaguar es una especie que requiere grandes áreas y se moviliza tanto en zonas terrestres como en zonas húmedas. De la mano con el jaguar, se pensó el modelo de conectividad para especies de especial interés para la comunidad y para la vida anfibia, como son el chiguito y la hicotea, las cuales habitan especialmente en las zonas de zapal y cuya restauración tiene el doble propósito de beneficiar a las comunidades y restaurar las áreas degradadas del humedal especialmente. Asimismo, se incluye la dinámica hídrica del territorio, garantizando la conectividad de las ciénagas y caños como hábitat de especies como el bocachico y mejorar su ciclo de vida en zonas de zapal, ciénagas y ríos.

Para la construcción de la grilla de resistencia, se tomó la capa de integridad la cual tiene especial énfasis en las coberturas que son más hostiles para la movilidad y se incluyeron aquellos elementos del paisaje que deben ser evitados por las especies, estos son las vías y asentamientos humanos. Se asignó un umbral de 100m para vías y 500m para los cascos urbanos como áreas de influencia que debe evitar la conectividad con el fin de evitar la exposición de las especies a eventos como cacería y atropellamientos (Isaacs- Cubides et al. 2016, Correa-Ayram et al., 2017). Se empleó la extensión linkage mapper, para realizar los trazados de la conectividad (McRae et al. 2008).

A nivel más detallado, se volvió a modelar la conectividad con la capa de cobertura a escala 25.000 para la región de La Mojana, pero en este caso se excluyeron las capas de fragmentación y de estructura que están construidos a escalas más gruesas. Esto nos permite, por un lado, conocer la integridad del paisaje y las grandes rutas para la conectividad en la escala 1:100.000 para la depresión Momposina, pero en la escala más detallada, mejoran la resolución del análisis para establecer de forma más puntual las acciones en campo de restauración y de enriquecimiento del paisaje a través de la reconversión productiva.

Servicios ecosistémicos

A continuación, se presentan los métodos utilizados para espacializar desde un enfoque biofísico los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono, alimento, oferta hídrica superficial, regulación hídrica, control de inundaciones y control de la erosión. Este ejercicio busca reforzar la importancia de la preservación de las áreas naturales más allá de la importancia ecológica de las especies y sus interacciones (Tallis et al. 2012). En este sentido, el concepto de servicios ecosistémicos se refiere al potencial completo de las funciones ecológicas o de los elementos biofísicos de un ecosistema que proporciona un servicio ecosistémico potencial, indiferente al uso humano actual o valor de la función o elemento, utilizando el método desarrollado por Portocarrero-Aya y Díaz (2017) y Ochoa et al. (en prensa). En la Tabla 5 se observan los proxies y las fuentes de información utilizadas para espacializar los servicios ecosistémicos evaluados.

Tabla 5. Servicios ecosistémicos evaluados, variables proxies y fuentes de información utilizadas.

Servicio ecosistémico	Variables utilizadas	Fuente de información
Alimento	<ul style="list-style-type: none"> Áreas de cultivos y pastos Áreas sin sobreutilización del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura 1:25.000 Mapa de conflictos de uso (IGAC 2012).
Almacenamiento de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> Valores de almacenamiento de carbono, de acuerdo al tipo de cobertura. Carbono orgánico en suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura 1:25.000 Yépes et al. (2011). COS (IGAC 2016).

Oferta hídrica	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de la evapotranspiración y la precipitación, para obtener la escorrentía superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones climáticas del IDEAM. Estudio Nacional del Agua (2018).
Regulación hídrica	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas con alta retención y regulación hídrica por su tipo de cobertura, que se cruzan con la pendiente y el material parental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura 1:25.000 • DEM 5m • Geopedológico nacional (2015).
Control de erosión	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizado por áreas naturales y presencia de erosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura 1:25.000 • Mapa de erosión Servicio Geológico Colombiana (2015).
Control de inundación	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizado por áreas naturales en áreas de susceptibilidad de inundación, ajustado con el mapa de humedales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura 1:25.000 • Susceptibilidad de inundación (IDEAM 2015). • Mapa de humedales (Humboldt 2016).

Si bien algunas de las capas empleadas están construidas a escala 100.000, en este sentido funcionan como unidades caracterizadoras y se mejora la resolución de los mapas resultantes al incluir la información de la cobertura a escala 1:25.000.

Alimento

El servicio de alimento identifica aquellas áreas que actualmente presentan usos agropecuarios, visibles en la cartografía (cultivos, mosaicos, pastos etc.) de acuerdo a la aptitud de uso del suelo. Se asignó un valor a cada tipo de forma de producción, siendo deseable una condición más heterogénea y con presencia de áreas naturales (i.e. mosaicos de pastos y cultivos con espacio naturales). En este ejercicio se incluyen los pastos limpios, por ser un reglón importante en la economía, sin embargo, debido a la condición de deterioro de los suelos que representa, se da el menor valor en la ponderación, esto con miras a fortalecer una propuesta de reconversión productiva hacia una transición silvopastoril (Tabla 6). De igual manera, como cultivo dominante en la región se incluyen las zonas de producción de arroz, pero haciendo la salvedad que es un tipo de uso que transforma y contamina las zonas de humedal, donde también se busca que la producción sea más diversificada, en áreas donde no ocasione conflicto por uso inadecuado y que presente elementos que enriquezcan el paisaje.

Tabla 6. Valores de ponderación asignados a los tipos de producción agropecuaria.

Cobertura	valor
-----------	-------

Cultivos transitorios, cereales, oleaginosas, tubérculos, cultivos permanentes herbáceos, mosaicos de pastos y cultivos, zonas arenosas naturales	1
Pastos limpios	2
Cultivos permanentes arbustivos y arbóreos, pastos arbolados, pastos enmalezados	3
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.	4
Cultivos agroforestales, plantaciones	5

Polinización

Para las áreas naturales presentes, se calculó un umbral de distancia de prestación de servicios del bosque hacia las áreas intervenidas y que tiene beneficio el servicio de polinización. Se identificaron áreas de coberturas naturales y semi-naturales con potencial para funcionar como hábitat de polinizadores (insectos y murciélagos). Para esto, se utilizó la cobertura de la tierra correspondiente a áreas de bosques abiertos y densos, arbustales, herbazales, que están cerca de zonas de cultivos. Para esto se establecieron dos rangos de vuelo de los polinizadores: <50m y <300m, de acuerdo con lo establecido por diferentes autores sobre las distancias de visitas para insectos y murciélagos (Benjamin et al. 2014, Carvalheiro et al. 2010). Se crearon buffers con dichas distancias al exterior de áreas de bosques aledañas a cultivos y este mapa resultante, fue ponderado de acuerdo al mapa de fragmentación descrito al inicio, para evidenciar zonas de vulnerabilidad por pérdida de polinización, por la lejanía entre parches.

Almacenamiento de carbono

Para el mapeo del servicio de almacenaje de carbono, se empleó el mapa de cobertura de la tierra Corine Land Cover para el año 2013 desarrollado por PNUD, categorizando las coberturas de acuerdo a lo propuesto por Yépes y colaboradores (Ideam 2011) para estudios de biomasa por cobertura en Colombia (Tabla 7). Según la biomasa acumulada por cobertura, se asignó un valor de 1 a 7, siendo los mayores valores correspondientes a las áreas naturales en estado de conservación y que acumulan mayor cantidad de biomasa en pie. Los niveles intermedios ocurren en coberturas que presentan intervención o uso, que va siendo cada vez más bajo de acuerdo a su cantidad de biomasa y crecimiento. Se calculó el contenido de carbono en biomasa y las toneladas secuestradas por cada tipo de cobertura, según el área ocupada por cada una para cada año. Se reporta la cantidad de carbono equivalente aplicando un factor de conversión (3.67), el cual es empleado para reportar toneladas de carbono por emisión según la metodología del IPCC para cada año (Ideam 2011). Dentro del mismo análisis, se empleó la capa de carbono orgánico en suelo (IGAC 2016), para obtener un estimado de captura de carbono desde el suelo.

Tabla 7. Tipos de cobertura categorizadas para el servicio de carbono en biomasa y su equivalente en toneladas por hectárea.

Cobertura	C	CO2e
Bosque natural	92.60	339.84
Forestales	89.9	329.93
Permanentes	28.9	106.06
Vegetacion secundaria	19.60	71.93
Agrícolas heterogeneas	5.8	21.29
Pastos	6.4	23.49

Oferta hídrica

En este caso, las capas de oferta y regulación fueron construidas con variables como la precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración; se consideran como entradas al ciclo la precipitación y como salidas: la evaporación, la transpiración, la infiltración y la escorrentía (IDEAM 2014). Con base en estas variables es posible obtener un acercamiento a la oferta hídrica de un territorio a partir de los cálculos de la Escorrentía Superficial Directa (ESD) y su relación con la cobertura para determinar la regulación.

La oferta hídrica básicamente es una variable que depende de la escorrentía y de la regulación que brinda la vegetación a dichos niveles en relación con su material parental. Para desarrollar el cálculo de la Escorrentía Superficial Directa - ESD, se utilizó la metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM 2018) empleando la serie de datos climáticos disponible desde 1984 hasta el año 2010 proporcionado por el IDEAM y su interpolación usando un IDW. Anexo I.

Regulación hídrica

Una vez obtenida la oferta hídrica, para el cálculo de la regulación hídrica se consideró la cobertura vegetal, la pendiente y el material parental para determinar la regulación hídrica de acuerdo al método propuesto por Kennessy (1930) y actualizado sucesivamente por varios autores (Colombetti & Mattioli 1991, Bauducco et al. 1992). Para el material parental, se tuvo en cuenta el valor de permeabilidad, lo que permite determinar la porosidad del suelo y que tanto se retiene de la oferta. En el caso de la pendiente, entre mayor sea, mayor el escurrimiento y en las zonas planas se presenta retención; esta se clasificó en valores de <3.5%, 3.5% < a >10%, 10% < a >35% y > 35%. Por su parte las coberturas naturales presentan mayor aporte a la regulación, que aquellas intervenidas, siendo el factor más determinante en el agua retenida y regulada.

Finalmente, se evaluó el servicio de control de inundaciones y control de erosión, empleando la capa de erosión (SGC, 2015) y su presencia en áreas de vegetación natural. Por su parte y de mayor dominancia en la región, se emplearon las capas de susceptibilidad a inundaciones y humedales, para definir zonas de inundación que están reguladas por la cobertura vegetal.

Zonificación final

Una vez tenida la información de los servicios ecosistémicos, las oportunidades de restauración y la conectividad, se construyó una zonificación con base en los disturbios identificados por la cartografía, las áreas de prestación de servicios y las áreas a conectar. De acuerdo principalmente a las áreas de drenajes, las áreas en erosión, las zonas de inundación y la aptitud de uso de la tierra, se propuso una zonificación del territorio con base en la preservación, la restauración y el uso sostenible.

Se tomaron las áreas núcleo definidas en el modelo de conectividad, como aquellas áreas destinadas a preservación. Asimismo, se tomaron los corredores y en ellos se plantearon zonas de preservación y zonas de rehabilitación en donde se ha perdido la cobertura natural, pero se constituye en un área a conectar. Se propone reconversión productiva para aquellos usos no diversificados, para dar paso a sistemas agroforestales en el caso de cultivos homogéneos, o silvopasturas o manejo de pasturas en el caso de ganadería extensiva. El mapa de conflicto de uso complementa esta zonificación, incluyendo rehabilitación del área en especial en zonas con sobreutilización del suelo y conflictos en zonas acuáticas.

SECCIÓN NO. 3

RESULTADOS

Según lo reportado en trabajo de campo, no sólo para los cuatro municipios, sino para la región de La Mojana se registran muchas alteraciones antrópicas, como la construcción de terraplenes que obstruyen el paso natural del agua entre caños y ciénagas, el vertimiento de desechos y la deforestación. Algunas ciénagas principalmente del municipio de Guaranda como Puercos y Sierpe, han sido secadas y son utilizadas para ganadería y cultivos.



Dadas las significativas transformaciones de la región, el modelamiento se centró en identificar las diferentes oportunidades de restauración del paisaje en un mosaico que permita la preservación, la restauración ecológica y el uso sostenible. En este sentido, a manera general la depresión Momposina es una zona que presenta un elevado estado de fragmentación (Figura 2), en donde la mayoría de la cobertura original se ha perdido, sin embargo, aún existen algunas zonas de bosque denso hacia el municipios de Montecristo, presencia de herbazales en zonas inundables y en buena parte vegetación secundaria o en regeneración. Esto claramente es una condición preocupante en el territorio por la pérdida de la naturalidad e integridad original de los ecosistemas de humedales y que urgen ser manejados para mitigar el deterioro.

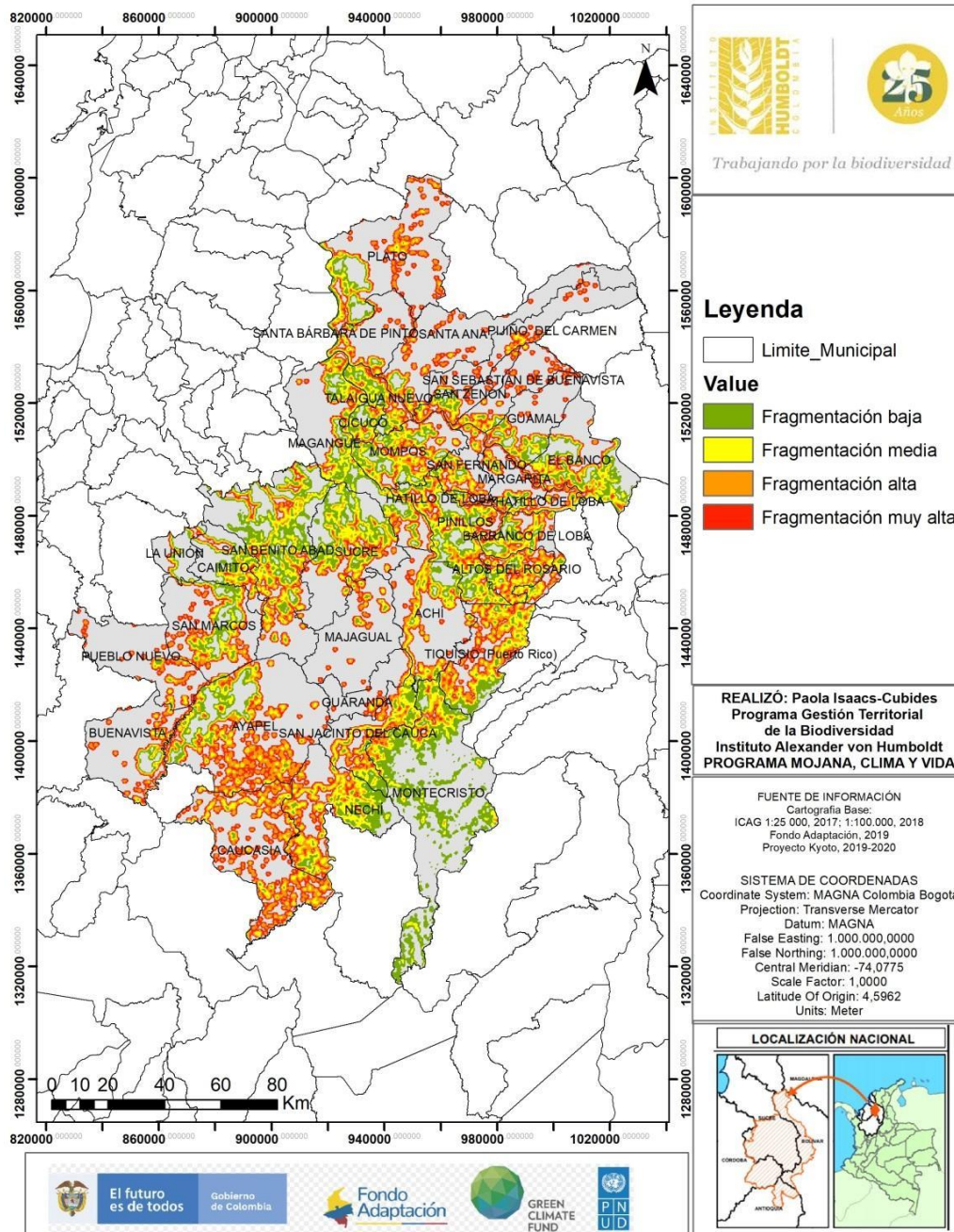


Figura 2. Estado de fragmentación de las coberturas en la depresión Momposina, escala 1:100.000 (Fuente Correa-Ayram et al., 2017).

Al evaluar la estructura de la vegetación en el mapa de Condición Estructural del Bosque y su cambio a través del tiempo, se observa como las coberturas actuales difieren de la que ocupaba originalmente (Figura 3). La zona seguramente presentaba bosques densos rodeando el humedal y herbazales amortiguando el espejo de agua. Lo que queda hoy es un grupo de vegetación secundaria hacia el sur oriente, donde se observan en colores verde oscuro, las áreas que se han mantenido en el tiempo y que no presentan elevados

estados de fragmentación. Justamente hacía la zona de los municipios priorizados, se nota un mejor estado de preservación.

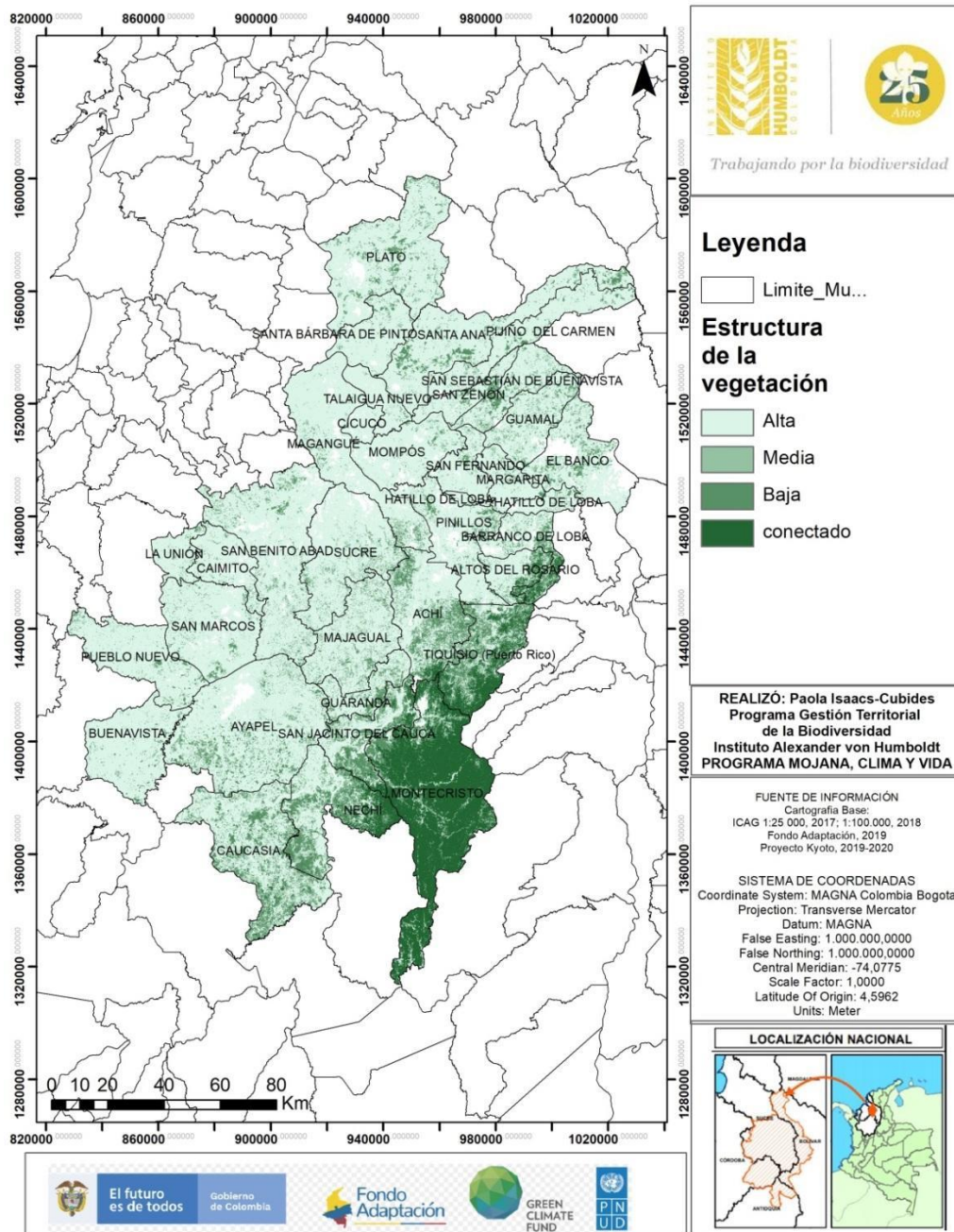


Figura 3. Índice de la condición estructural del bosque para la depresión Momposina.

Para complementar estos dos insumos el análisis de integridad muestra la misma tendencia, sin embargo, acá se destaca las zonas de “pantanos” entre las ciénagas de los municipios de San Benito Abad, Ayapel, San Marcos y Majagual, lo que refuerza la ubicación de áreas estratégicas para la preservación (Figura 4).

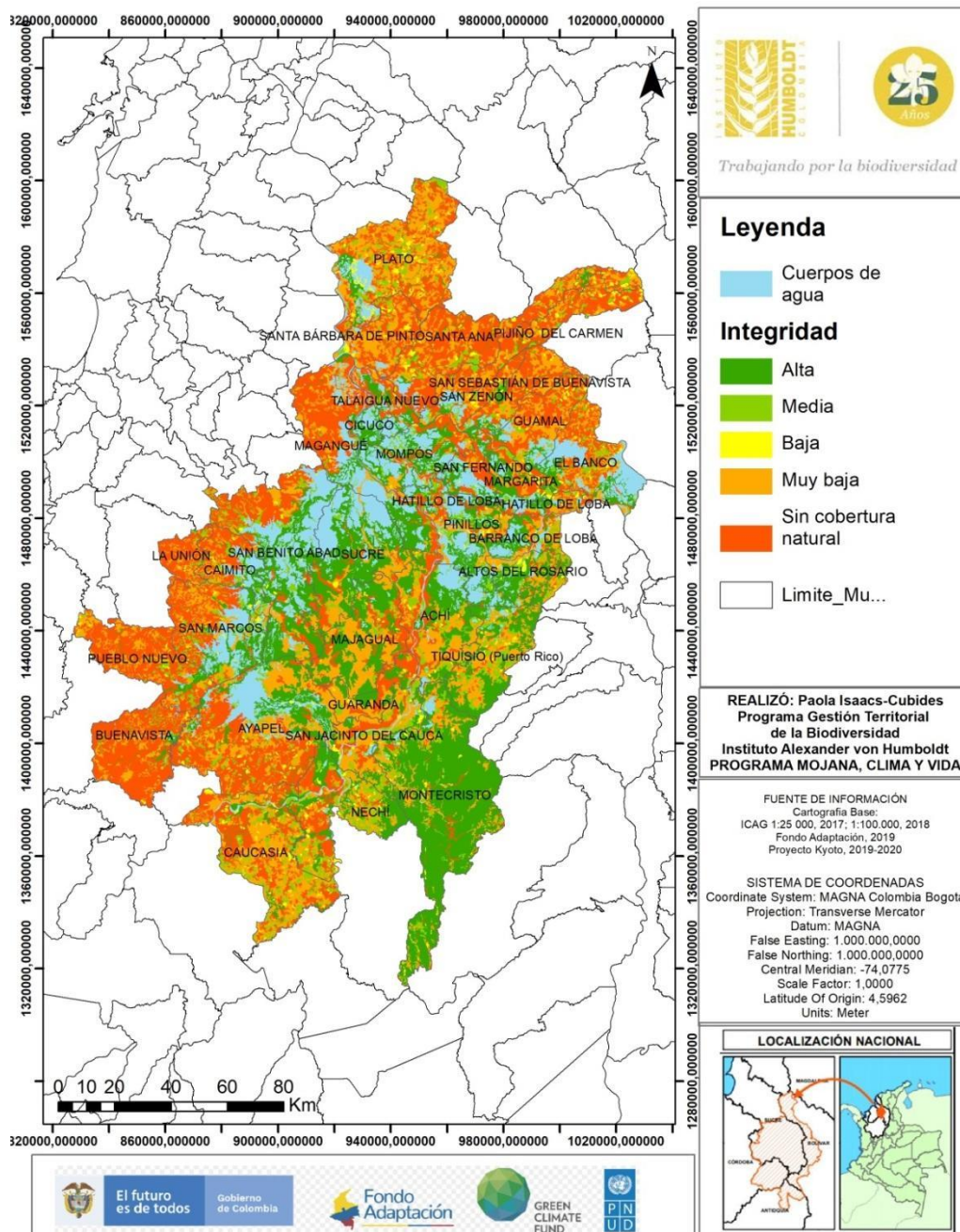


Figura 4. Índice de integridad calculado con datos de cobertura, tamaño, forma, estructura de la vegetación y fragmentación de las coberturas, para el área de estudio.

De la unión de las tres capas, integridad, fragmentación y estructura, se construyó la grilla de resistencia con el fin de realizar la modelación de las rutas de conectividad regionales para la zona de influencia de la Mojana. Las zonas alrededor de las ciénagas más grandes son las que menor resistencia a la movilidad presentan, pero por su parte son las áreas de monocultivos las que más resistencia arrojaron (Figura 5).

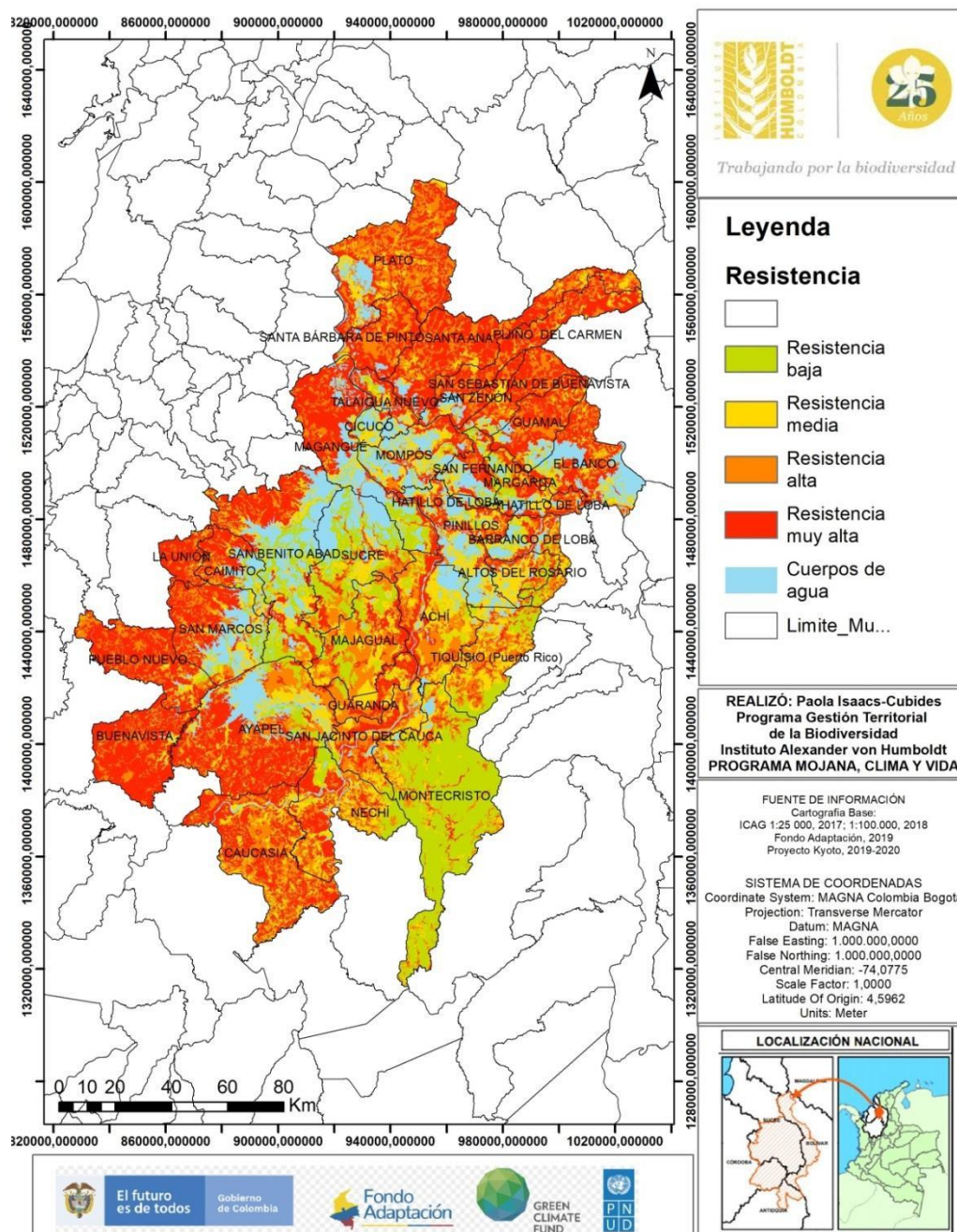


Figura 5. Capa de resistencia resultante del análisis de integridad, fragmentación y condición estructural de la vegetación.

En el caso de la región de La Mojana, es importante destacar las áreas que realizan mayor aporte en términos de áreas naturales y su integridad. Como se ha mencionado, las zonas de ciénagas y ríos son las que mayor aporte ofrecen a la preservación y a la conectividad, en especial se forma un corredor acuático al costado occidental que es el que presenta cuerpos de agua más extensos. De acuerdo a la cobertura escala 1:25.000, existen cerca de 104.500 ha continuas de zonas húmedas según la categoría CLC. Adicionalmente, al

costado oriental es importante el área de conexión del río Cauca, que aporta cerca de 12.000 ha (Figura 6).

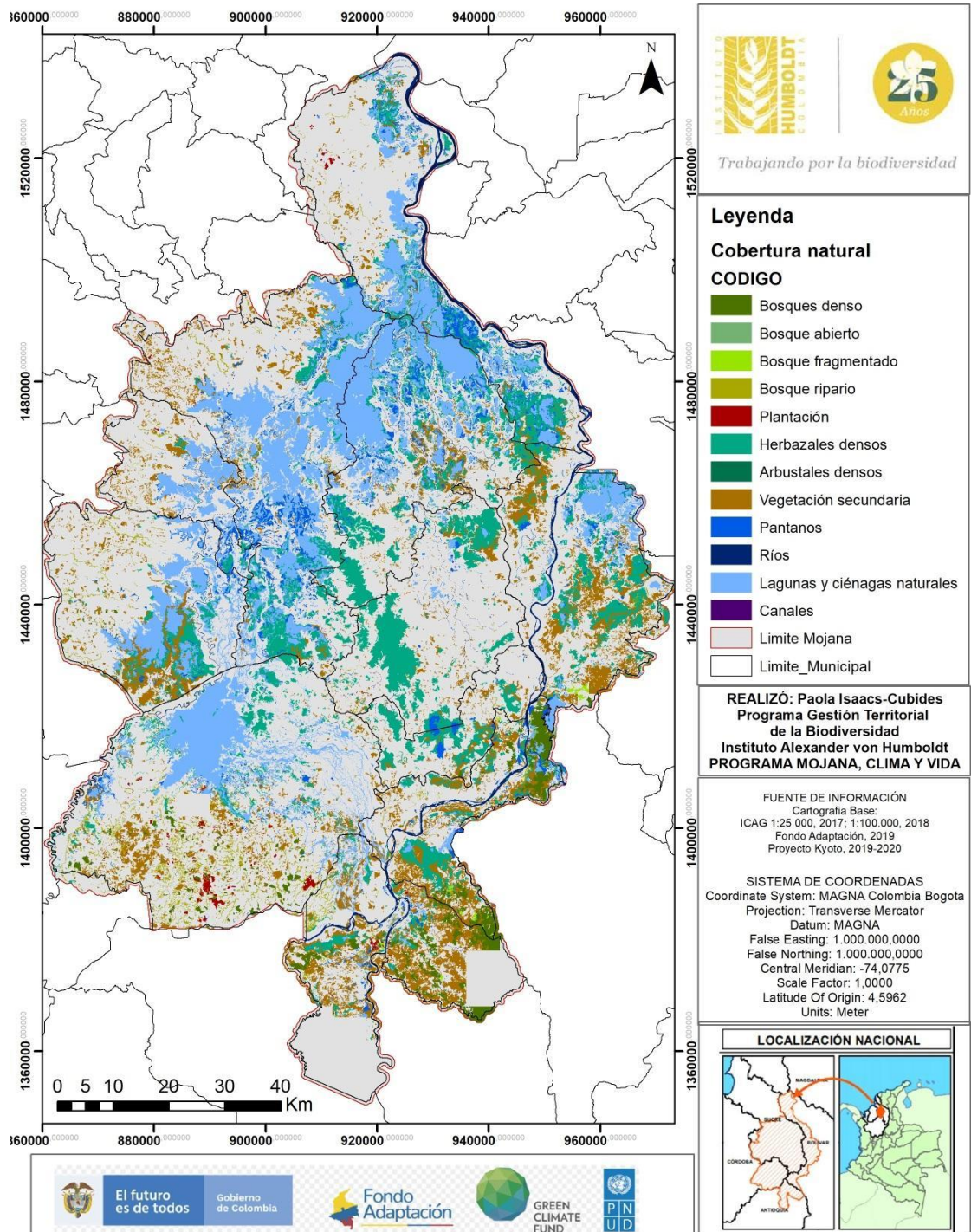


Figura 6. Mapa de cobertura natural de la tierra a escala 1:25.000.

En cuanto a las áreas de bosques, arbustales y herbazales, es importante destacar el aporte que cada cobertura realiza a la integridad del paisaje. Se destaca un parche de herbazales inundables en el municipio de Majagual en la zona de zapales Occidentales, con cerca de 7716 ha. siendo el área de mayor importancia por su tamaño, pero además porque se constituye una importante área de transición anfibia (Figura 7, número 5). Este mismo parche está conectado al occidente con otro parche de 4357 ha (número 8), que formaría un continuo de más de 12.000 ha de herbazales que conectan con las ciénagas más grandes. En el mismo municipio se presenta otro parche de herbazales de 2873 ha (número 13 y 54) hacia el norte, en la zona de Los Mimbres, que conectan en unos parches de vegetación secundaria de 2800 ha en Achi (número 12). Este parche de Los Mimbres se destaca junto con unos parches que suman más de 9000 ha (números 11, 15, 17 y 21) en San Jacinto del Cauca, ya que la vegetación secundaria o en transición, se presenta en buena parte de la zona, con pequeñas áreas. Es importante monitorear actualmente el comportamiento de estas coberturas, para conocer si a la fecha, casi siete años después del levantamiento de esta cobertura, se regeneraron o si desaparecieron y esto es de gran importancia para la restauración. A seguir, entre los municipios de Achí y Magangué, existe también una zona de herbazales inundables de cerca de 6800 ha (Figura 7, número 6).

Por su parte, las áreas de bosque denso, como se mencionó se encuentran al sur oriente del área de la depresión Momposina, cruzando el río Cauca hacia serranía de San Lucas, pero lo que corresponde a La Mojana, se remite a pocos relictos de bosques fragmentados, alternando con vegetación secundaria, que realiza el mayor aporte al sur del municipio de San Jacinto del Cauca con 2200 ha (número 18). Existe una zona importante que completa cerca de 4000 ha de bosques densos, ciénagas y herbazales en la ciénaga de Mamaraya y que conectan con ciénaga del Medio (número 45), esta zona tendría uno de los mejores estados de conservación (Figura 7).

Finalmente, existe un parche de herbazales en la zona de La Castellana y ciénaga de Sierpe con más de 2400 ha, que deben ser preservados ya que presentan espejo de agua y una elevada diversidad según se reporta en el informe de las comunidades (número 16). Dentro de las áreas de interés de los cuatro municipios, se destacan adicionalmente la zona de la Mojanita con 480 ha de herbazales inundables y las ciénagas de Zapata (240 ha) y Santa Catalina (437 ha), las cuales están inmersas en áreas intervenidas. En el resto del área, la matriz dominante es de coberturas intervenidas, por lo que es necesario reactivar esa conectividad (Figura 7).

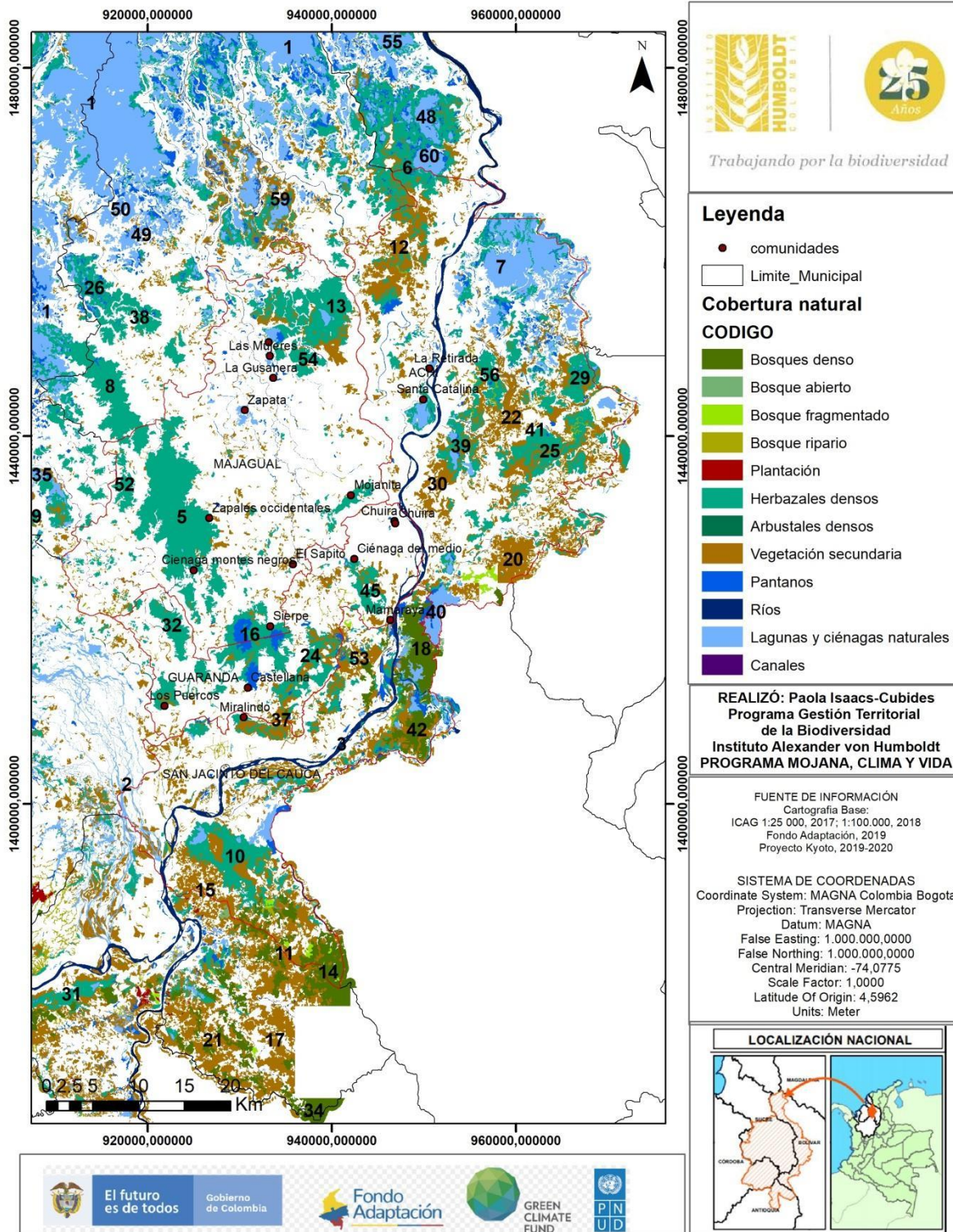


Figura 7. Contribución de los tipos de cobertura y su integridad.

Una vez ingresada la resistencia y definidas las áreas núcleo para plantear las rutas de conectividad con base en los parches naturales de mayor integridad, es posible obtener esas zonas por donde es más fácil proponer estrategias de conectividad (Figura 8).

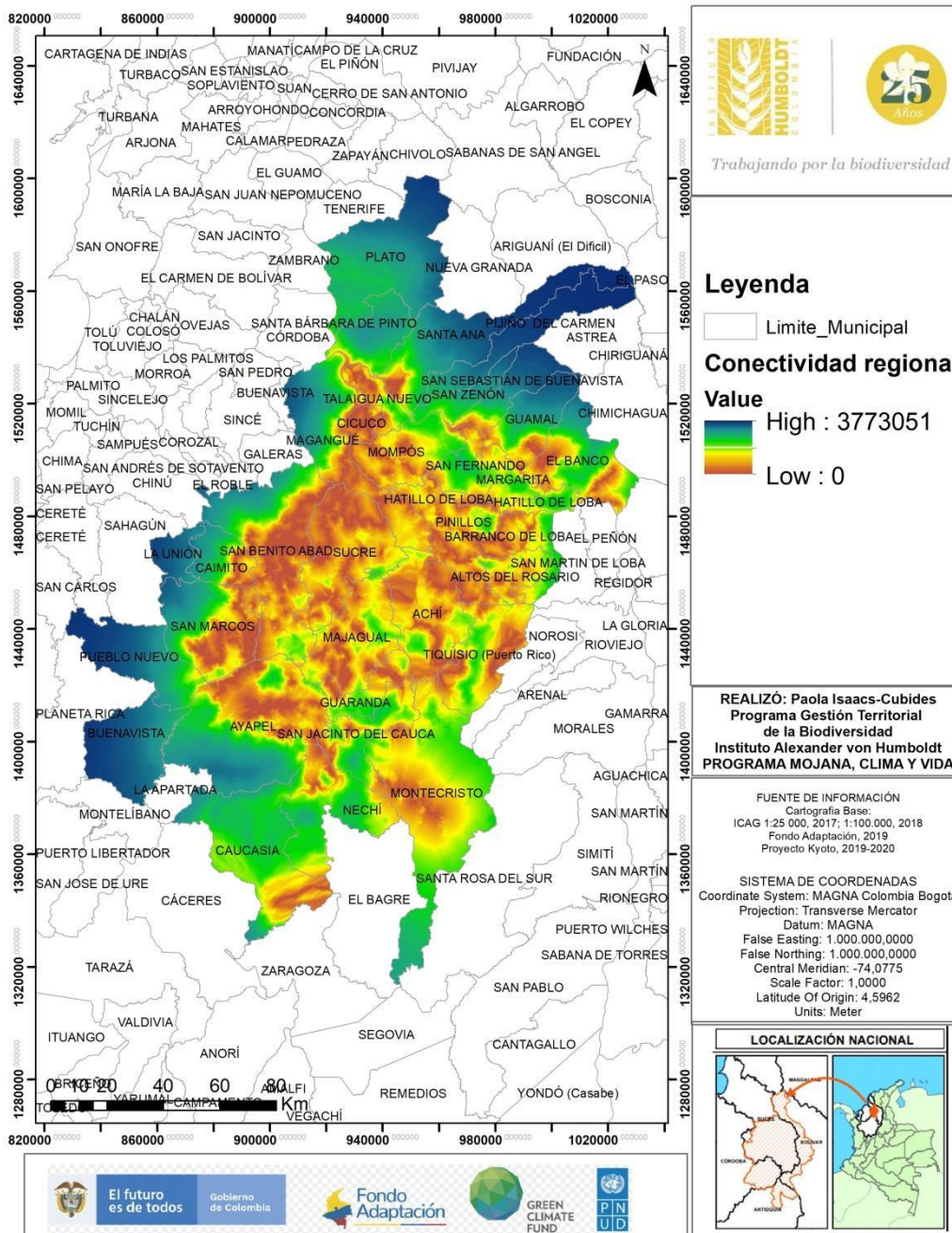


Figura 8. Modelo de conectividad potencial para la depresión Momposina.

En este sentido es clave la transición bosque – humedal, ya que sin las áreas núcleo en bosque no es posible conectar las áreas de influencia de ciénagas – zapales y viceversa, debido a los pocos remanentes de bosque. Hacia las áreas que han perdido la cobertura natural, en especial terrestre al costado occidental de la depresión Momposina, los esfuerzos para rehabilitar la conectividad son mayores, ya que ni siquiera muestra núcleos

a conectar y una resistencia muy alta. Esto estaría impidiendo la función de regulación de descarga de sedimentos, agroquímicos y materia orgánica hacia el humedal (Figura 8). Asimismo, se observa la acumulación de zonas conectadas sobre las áreas que ocupan las ciénagas y evidencia también elementos que se deben rehabilitar al no presentar conectividad actual.

Para este análisis es importante destacar al norte la conectividad que se forma en el río Magdalena (Brazo Mompos y brazo principal), ya que genera un gran corredor que requiere esfuerzos de restauración. La mayoría de la cobertura de bosques se ha perdido y únicamente se mantienen las zonas de vegetación propia de zonas de humedales y ciénagas (Figura 9).

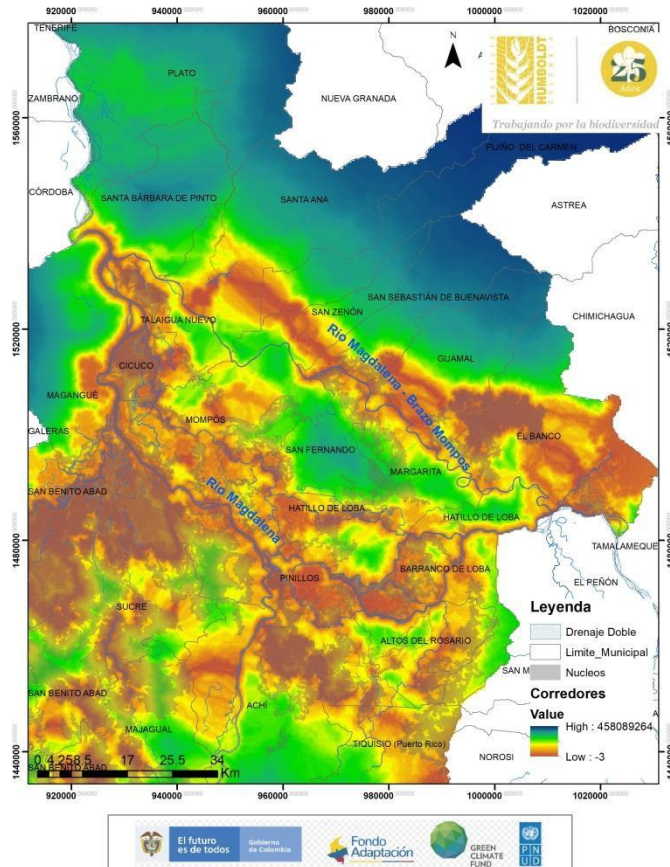


Figura 9. Modelo de conectividad potencial al norte de la depresión Momposina.

Por su parte, para los cuatro municipios priorizados se incluyeron las áreas de distribución original de zapales en la capa de resistencia, que direccionen en mayor medida los esfuerzos de restauración, incluso más allá de intentar desarrollar corredores más extensos. Estas zonas son las áreas de hábitat que interesan para las especies objetivo como chigüiros y tortugas, además de beneficiar sitios de refugio y hábitat para aves y peces. Adicionalmente, restaurar las áreas de zapal que rodean ciénagas y que incluyen zonas inundables, funcionarían como efecto de borde para mitigar las descargas de sedimentos y agroquímicos que llegan a los cuerpos de agua. En color verde se encuentran

dichos núcleos y en azul, las rutas por donde es más corto diseñar estrategias de conectividad con la cobertura modelada. En estas zonas se busca sobre todo reactivar la dispersión de semillas por aves y murciélagos, que son los grupos que funcionan para promover la regeneración natural. En rojo se ubican las áreas donde es más resistente el paisaje para desarrollar áreas a conectar, pero que potencialmente enriquecen el paisaje en la medida que se incluyen sistemas productivos menos abruptos (Figura 10).

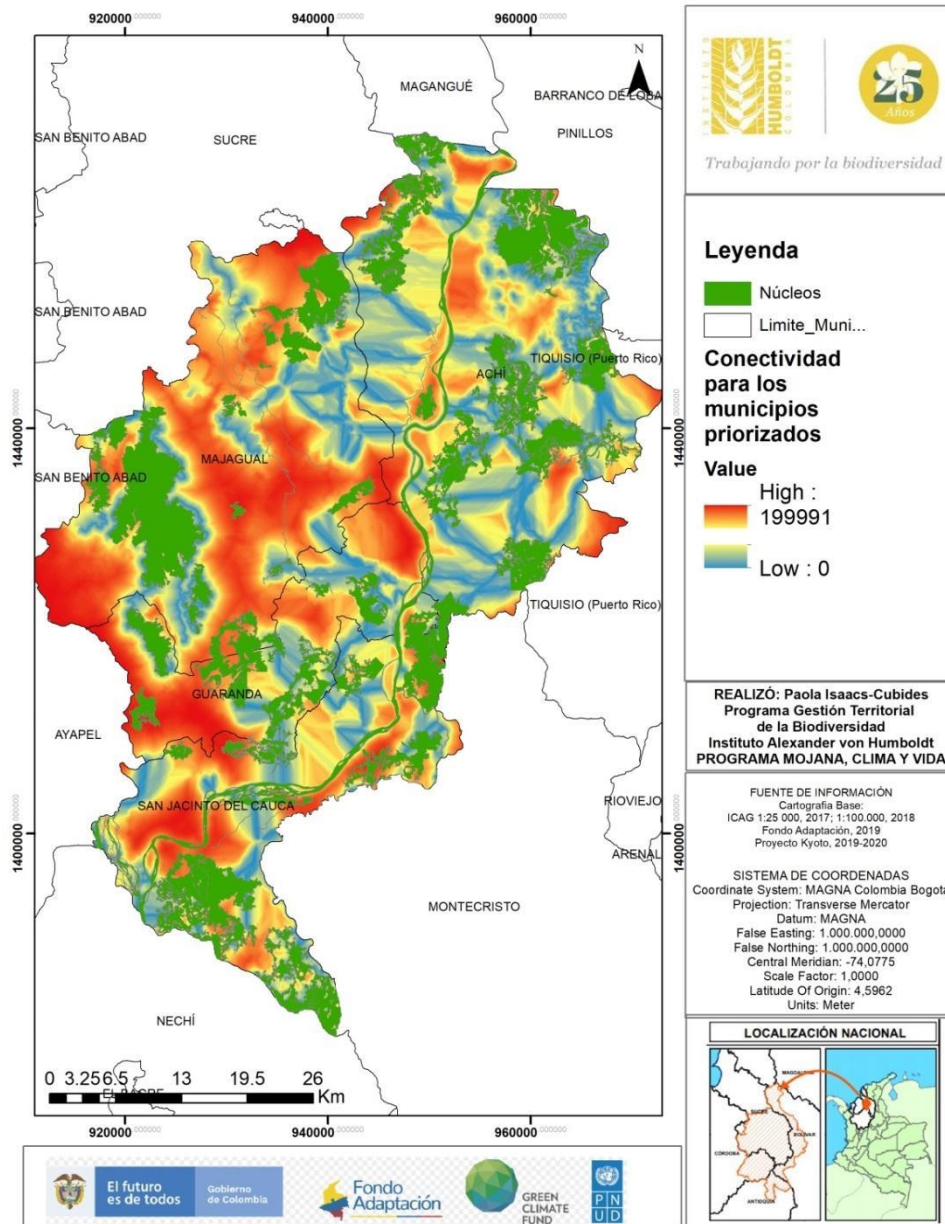


Figura 10. Modelo de conectividad potencial para los cuatro municipios priorizados.

Cabe destacar, que estos núcleos incluidos, son los que mayor integridad presentan y por lo tanto, son representativos de calidad de hábitat. Los parches de menor tamaño tienen una función de sitios de paso, no se consideran núcleos por su estado de intervención. De esta manera se presentó un análisis de la conectividad regional entre grandes parches y

con áreas de alta integridad para la depresión Momposina para garantizar que la conectividad propuesta sea a una escala que efectivamente aporte a la funcionalidad. La escala más detallada, permite afinar los sitios prioritarios para contribuir a esa gran conectividad y brinda elementos para acercarse a las estrategias a implementar localmente.

Servicios ecosistémicos

El análisis de servicios ecosistémicos se realizó con la cobertura a escala 1:25.000 Entrando ya en el análisis más específico que requiere La Mojana y haciendo uso de la cartografía de cobertura más detallada que presenta, se analizan cada uno de los servicios ecosistémicos. En el caso del servicio de alimento se incluyeron las áreas de cultivos, pastos, mosaicos, pero que no presentaran conflicto de uso de acuerdo al mapa de conflictos de uso del IGAC para el año 2012 (Figura 11).

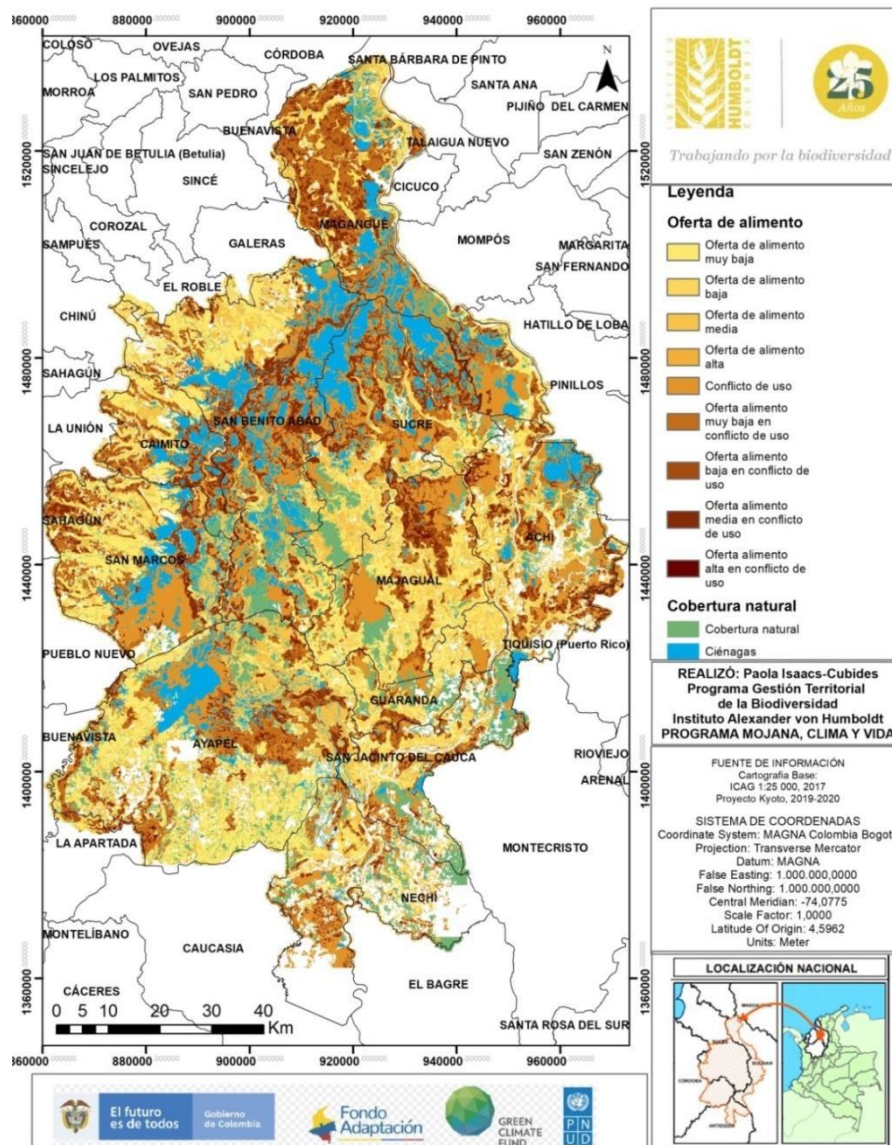


Figura 11. Capa de servicio ecosistémico de alimento.

Se otorgó un menor valor para aquellas zonas de monocultivos y mayor valor a los mosaicos con espacios naturales que es la condición más deseable. En colores amarillos más claros se observa la oferta de alimento baja, pero sin conflicto de uso y en colores cafés oscuros, las zonas de producción, pero con conflictos ya sean por presencia de cuerpos de agua o por sobreexplotación, la cual está muy ligada a procesos de degradación del suelo y erosión. Se relacionan los conflictos de uso con las áreas de transición anfibia, en especial al norte del municipio de Majagual, la zona que corresponde con ciénaga Mujeres, en menor medida se observan conflictos en zonas de oferta de alimento en La Sierpe y Zapales Occidentales. En amarillo más claro, el cual domina en la zona, se observa que el tipo de producción podría poner en riesgo la prestación del servicio. Esto se complementa al momento de ver las áreas de posible influencia de polinizadores, así como de otros organismos con función de control de plagas, incidencia de lluvia de semillas provenientes de las áreas naturales (Burkhard y Maes 2017, Bustamante et al. 2019). Considerando dos umbrales de influencia (50 y 300 m) que son distancias mínimas de vuelo para insectos y murcélagos (Benjamin et al. 2014, Carvalheiro et al. 2010), existen zonas que pueden estar perdiendo el potencial y productividad de la polinización por la remanencia de áreas naturales (Figura 12). La fragmentación de las áreas naturales, también hacen vulnerables la integridad de la prestación de la polinización para cultivos claves en la región de autoconsumo. Estas áreas de influencia externas a los núcleos, tienen una doble función al servir como sellos de las áreas naturales para mitigar el efecto de borde, la aparición de zapales por desecación y aumentar el tamaño de los parches, lo que indirectamente aumenta la conectividad entre áreas. Para el servicio de alimento, aún quedarían las áreas prestación de servicio de pesca, el cual es difícil ser mapeado.

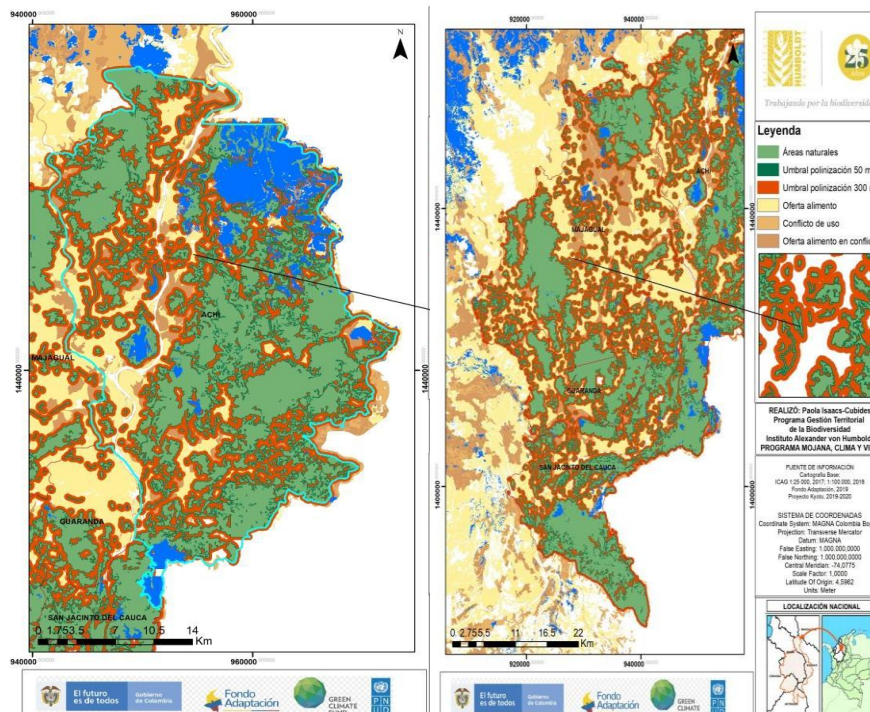


Figura 12. Mapa que ejemplifica la influencia de las áreas de polinización directa dependiente del bosque en las áreas de producción agropecuaria. En la parte derecha se observa un acercamiento del modelo.

En el caso del servicio de carbono, se obtuvo el valor de acumulación en biomasa y en suelo, evidenciando una gran acumulación de carbono en las zonas inundables por ausencia de oxígeno en agua que facilite la descomposición de la materia orgánica. En cuanto a la biomasa aérea, el aporte se da de forma destacada en esos parches de herbazales inundables, en la presencia de vegetación secundaria que es una gran secuestradora de carbono y en menor medida en los pocos fragmentos de bosques naturales. Los cultivos hacen un pequeño aporte en acumulación en biomasa, sin embargo, retorna en GEI al hacer el corte. La menor contribución la aportan los pastos limpios (Figura 13).

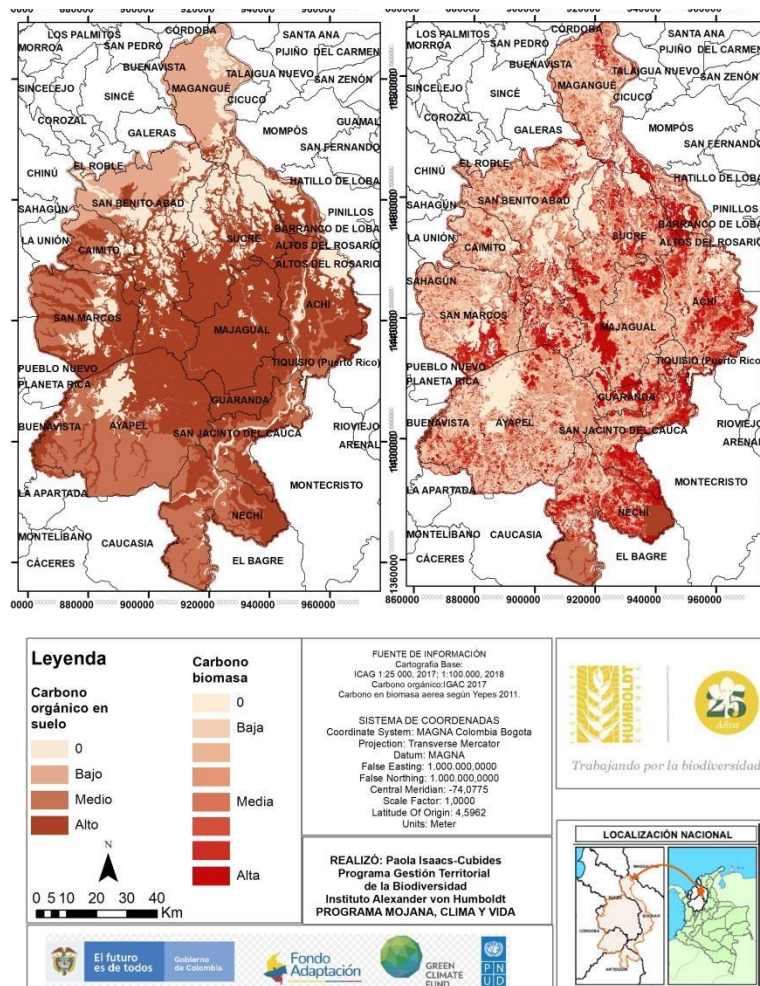


Figura 13. Capa de servicio de carbono en biomasa aérea y en suelo

Se encuentra acumulado un total de 14.907.000 ton de carbono en las áreas de bosques, herbazales densos y pantanos. A seguir, los bosques fragmentados, plantaciones y arbustales en stock presentan 11.519.000 ton, las zonas de pastos, cultivos en espacios naturales con 371.330 ton y las agrícolas heterogéneas con 294.800 ha. De acuerdo con la figura 14, al transformarse la cobertura natural se está conllevando a un descenso en la captura de carbono en casi una quinta parte, sin contar con el aporte que eso representa a gases de Efecto Invernadero (GEI). Asimismo, el aporte de metano derivado de la descomposición de la materia orgánica en zonas de humedales, está ocasionando un desbalance en las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global. El

componente boscoso en esta zona, es necesario para mitigar los GEI y podría ser una buena forma de incrementarlo a través de la resaturación y el enriquecimiento por la reconversión productiva (Figura 14). De la misma forma se comporta el aporte en carbono equivalente, el cual es resultado de multiplicar las toneladas de carbono por un factor de conversión (3.67; Tabla 8).

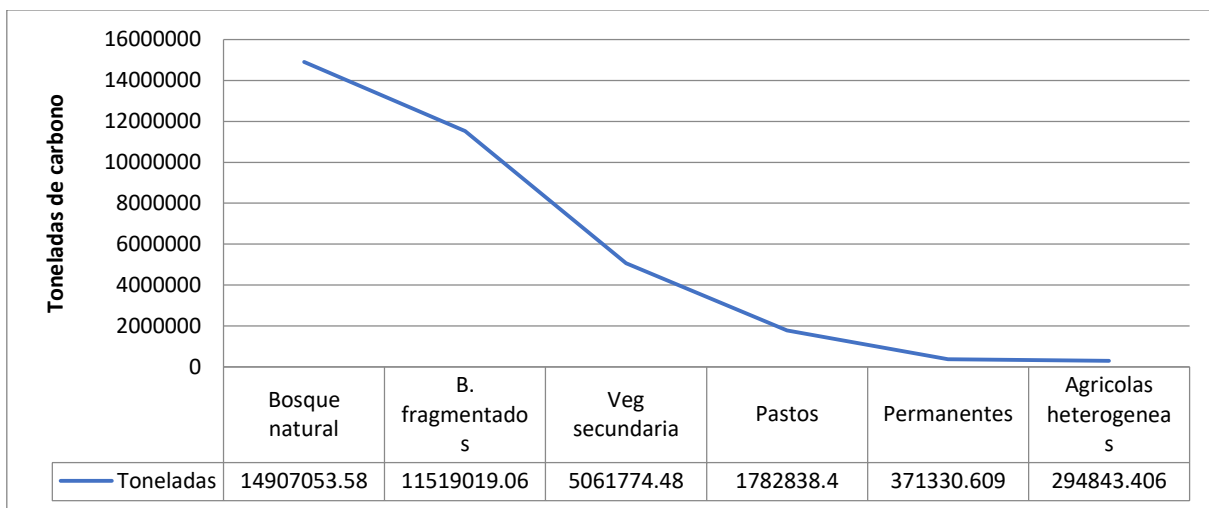


Figura 14. Toneladas de carbono en biomasa por cobertura.

Tabla 8. Reporte de acumulación de carbono en biomasa y su contribución en carbono equivalente como aporte a los GEI.

Cobertura	C	CO2e	area	Ton	CO2e
Bosque natural	92.60	339.84	160983.3	14907053.6	54708886.64
Forestales	89.9	329.93	128131.469	11519019.1	42274799.96
Permanentes	28.9	106.06	12848.81	371330.609	1362783.335
Vegetación secundaria	19.6	71.93	258253.8	5061774.48	18576712.34
Agrícolas heterogéneas	5.8	21.29	50835.07	294843.406	1082075.3
Pastos	6.4	23.49	278568.5	1782838.4	6543016.928

Estas áreas de mayor aporte se encuentran en verde oscuro en zonas de los municipios de Majagual, Achí, Guaranda, Nechi (Figura 15).

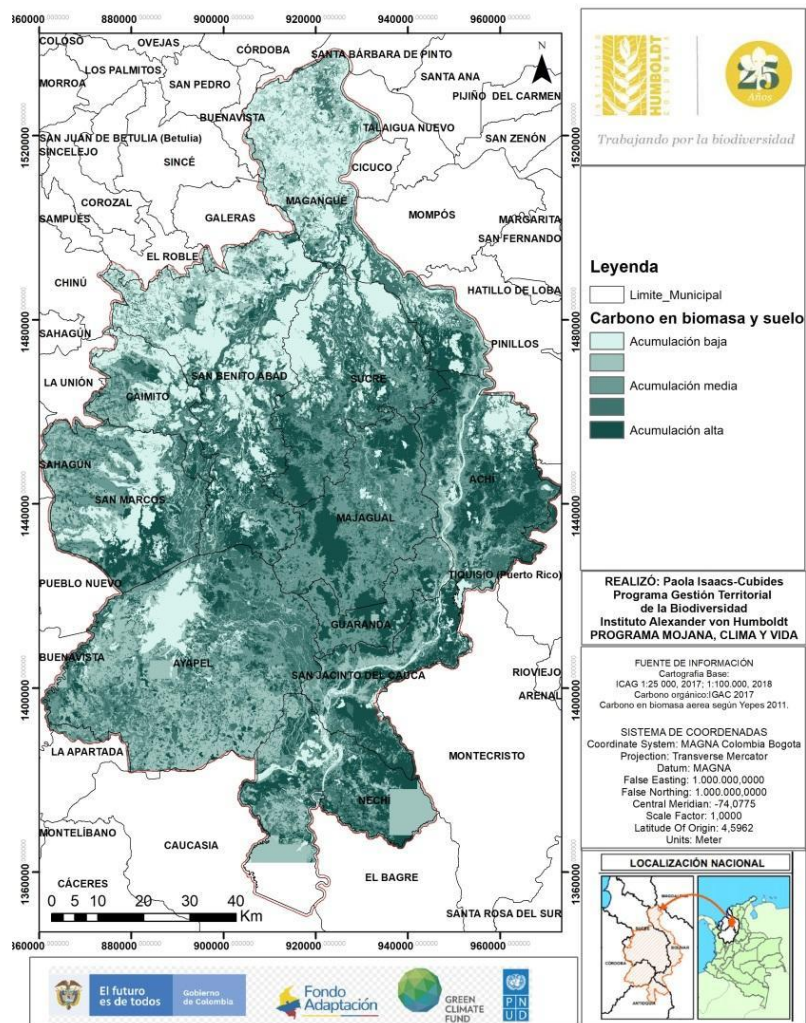


Figura 15. Capa acumulada de servicio de carbono en biomasa aérea y en suelo.

Las áreas estimadas de acumulación de oferta hídrica, se ubican hacia las zonas al pie de la serranía de San Lucas y al norte del municipio de Achí con valores entre 350 – 3800mm. Al combinar estas zonas, junto con el aporte del material parental, la pendiente y principalmente la cobertura, es posible identificar las áreas donde hay mayor regulación hídrica, aquí nuevamente se observa el aporte que ofrece la cobertura natural, en especial al oriente de la Mojana. San Benito Abda, Caimito, San Marcos y Ayapel hacia el costado occidental, son municipios donde se evidencia una pérdida de cobertura que elimina la regulación que ofrece la vegetación (Figura 16).

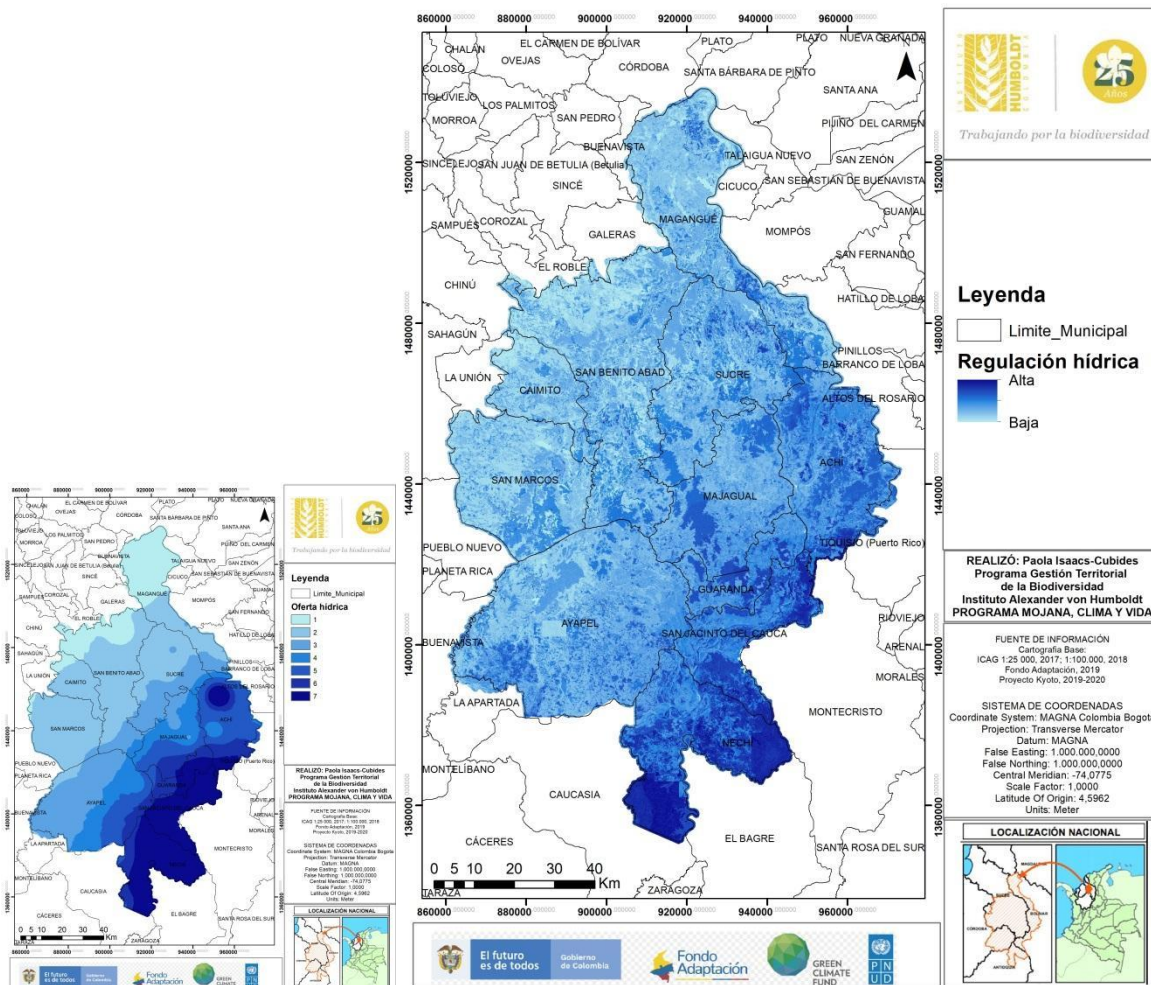


Figura 16. Áreas con mayor prestación de regulación hídrica en azul oscuro y en menor medida en azul claro, sin embargo la regulación se da de forma más óptima en las áreas cubiertas de vegetación y se pierde de forma acelerada en las zonas deforestadas y sobreutilizadas.

Finalmente, es importante destacar la presencia de áreas con erosión y susceptibilidad a inundaciones que afectan totalmente la región. Dado que la cobertura vegetal se ha perdido en buena parte, asimismo se ha perdido la regulación de estos servicios (Figura 17).

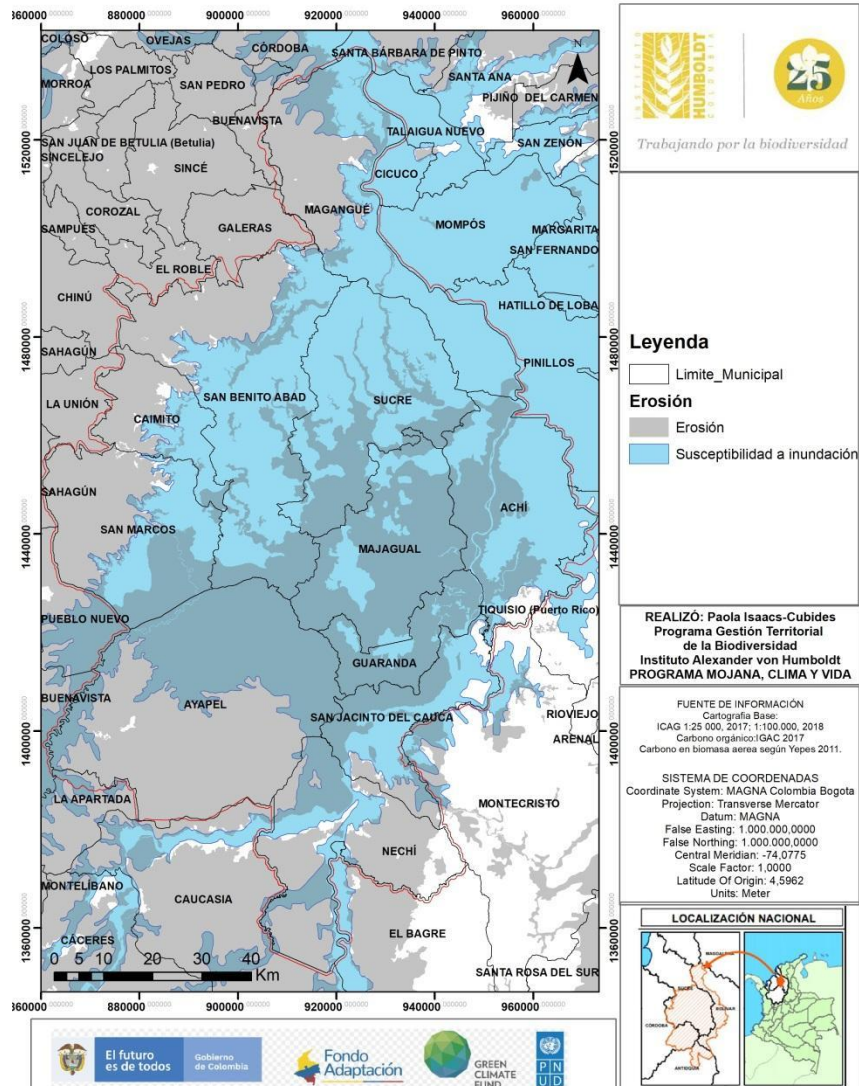


Figura 17. Áreas de susceptibilidad de inundación y presencia de erosión en la región de La Mojana.

Las áreas que presentan erosión, ocupan 719.000 ha distribuidas en 483.000 ha que presentan erosión ligera, 191.000 ha erosión moderada, 37781 ha erosión severa y 6.900 ha erosión muy severa. 161.000 ha se presentan en áreas naturales, en donde se estaría prestando el servicio de control de erosión.

La zona de los cuatro municipios priorizados presenta tanto susceptibilidad a inundación, como zonas en erosión (Figura 18).

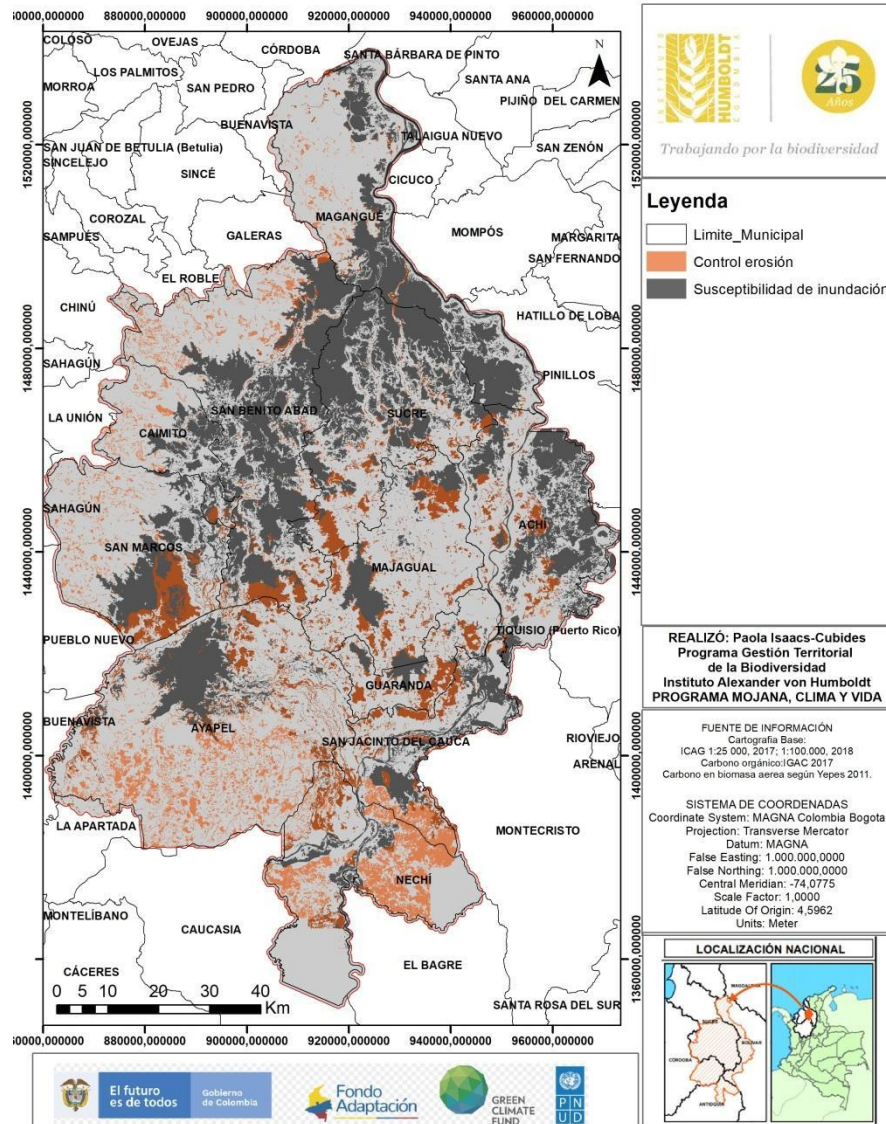


Figura 18. Áreas de susceptibilidad de inundación y control de erosión en coberturas naturales la región de La Mojana.

De la acumulación de los servicios evaluados, se obtuvo una capa que recoge las áreas donde hay mayor prestación, que coinciden en su mayoría con las áreas naturales (Figura 19). Estas zonas refuerzan el sentido de la preservación además de ser núcleos o sitios de paso para las especies, son zonas clave para la prestación de servicios. Las áreas con niveles intermedios y bajos de prestación de servicios son incluidas para mejorar la conectividad o la reconversión productiva, en la medida que el territorio se transforme, es posible ver el cambio en la prestación del servicio. Esta información debe ser complementada con datos de campo, acá asumimos presencia del servicio en áreas con condiciones cercanas a la naturalidad, para tener una idea de la ubicación de los mismos.

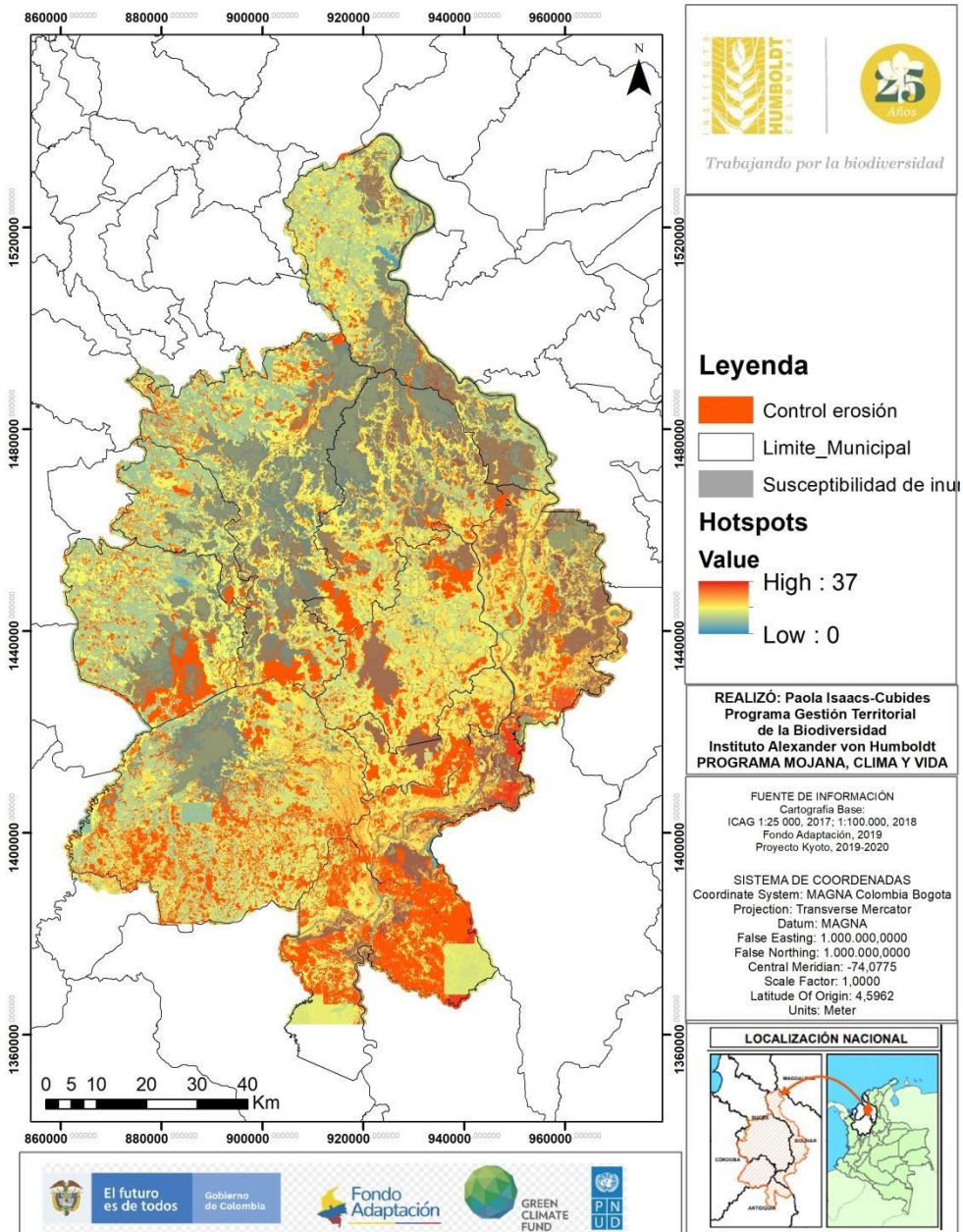


Figura 19. Áreas con mayor acumulación de servicios se encuentran en rojo y en menor medida en azul claro.

En un acercamiento de la zona priorizada de los cuatro municipios destaca también la presencia de acumulación de servicios en las áreas naturales presentes. Para la zonificación de dichos municipios se toma como base la mejora de dichos servicios con base en la conectividad y las áreas de los corredores resultantes (Figura 20).

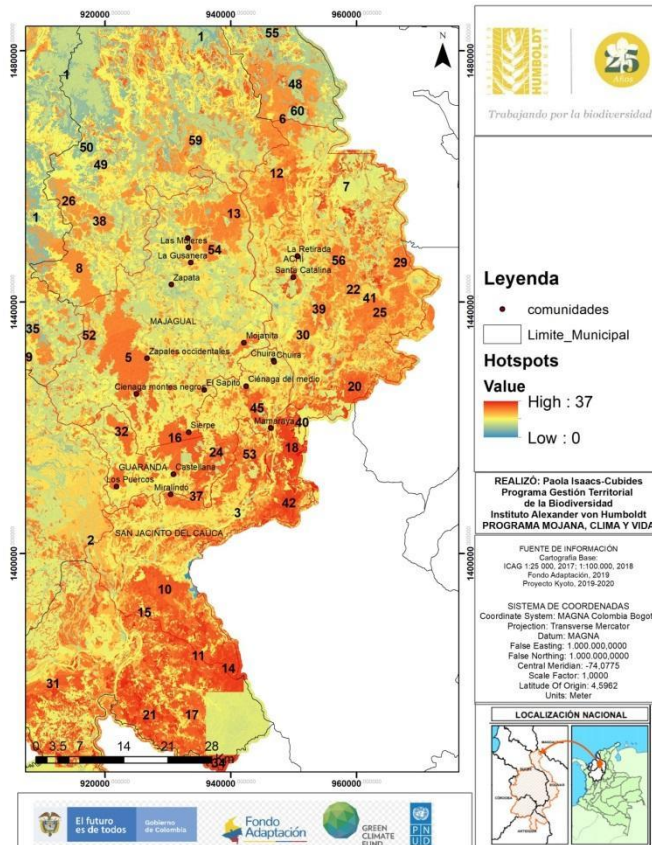


Figura 20. Áreas con mayor acumulación de servicios para los cuatro municipios priorizados, se encuentran en rojo y en menor medida en azul claro.

Zonificación de áreas para la restauración del paisaje

La transformación a la que han estado sometidos los ecosistemas de la región de La Mojana obliga a considerar varios tipos de respuesta para detener, ajustar o revertir dicha transformación. Estas pueden ser: 1) la preservación de áreas naturales en mejor estado (relictos de bosque y herbazales de distinto tamaño en las áreas transformadas y áreas no transformadas), 2) La conservación y restauración ecológica de los relictos de bosque y de vegetación nativa que están inmersas en la matriz productiva (fragmentos de bosque en laderas, ríos, quebradas y cañadas en las áreas productivas), 3) restauración ecológica para ampliar y conectar de los relictos de bosques más íntegros y humedales existentes (en las áreas productivas), 4) mejorar el uso que se hace sobre el capital natural en los sistemas productivos, 5) cambiar las prácticas productivas por sistemas eficientes y sostenibles; y 6) recuperar y rehabilitar estructura y servicios ecosistémicos en las áreas productivas que se han degradado, dañado o destruido. En estos escenarios es también necesario recuperar la conectividad de los caños y bosques riparios.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Criterio conectividad: Reestablecer conectividad estructural y funcional entre los relictos de bosque nativo priorizados, a través del incremento del borde en los perímetros de los parches de bosque, así como el establecimiento de corredores y de Herramientas de Manejo del Paisaje en las áreas productivas.

Criterio corredores riparios, caños, zapales: Restablecer la estructura y composición de la vegetación nativa en las riberas y llanuras de inundación de los ríos, caños y quebradas.

Criterio erosión: Controlar procesos de erosión laminar, regueros y cárcavas en las áreas priorizadas afectadas por erosión.

Criterio incremento de perímetro y revegetación: Restablecer la estructura y composición de los relictos de bosque nativo afectado por tala rasa y selectiva mediante el refuerzo y reintroducción poblacional de árboles de bosque maduro o en categoría de amenaza de acuerdo con el listado de plantas de revegetación seleccionadas. Promover la producción agropecuaria sostenible mediante el ordenamiento de usos del predio, la implementación de Herramientas de Manejo del Paisaje y el establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles, agroforestales y forestales de especies nativas.

- 1.1. Promover la conservación de los relictos de bosque actual y el desarrollo de procesos de restauración ecológica en los predios priorizados mediante el establecimiento de acuerdos socioambientales de restauración y conservación, los cuales incluyen incentivos socioculturales y económicos.
- 1.2. Promover la mejora del hábitat para la fauna a través de la revegetación de parches, establecimiento de corredores, herramientas de manejo del paisaje en áreas productivas y pasos para fauna superior e inferior en las áreas priorizadas.
- 1.3. Erradicar las plantas con comportamiento invasor en las áreas priorizadas para restauración y en los fragmentos de bosque dedicados a conservación.

Los cuatro municipios presentan buena parte de su área condiciones de alta humedad en periodos húmedos y pocas zonas secas en periodos húmedos, por lo que es altamente susceptible a inundaciones. Este es un aspecto de primera necesidad (Figura 21).

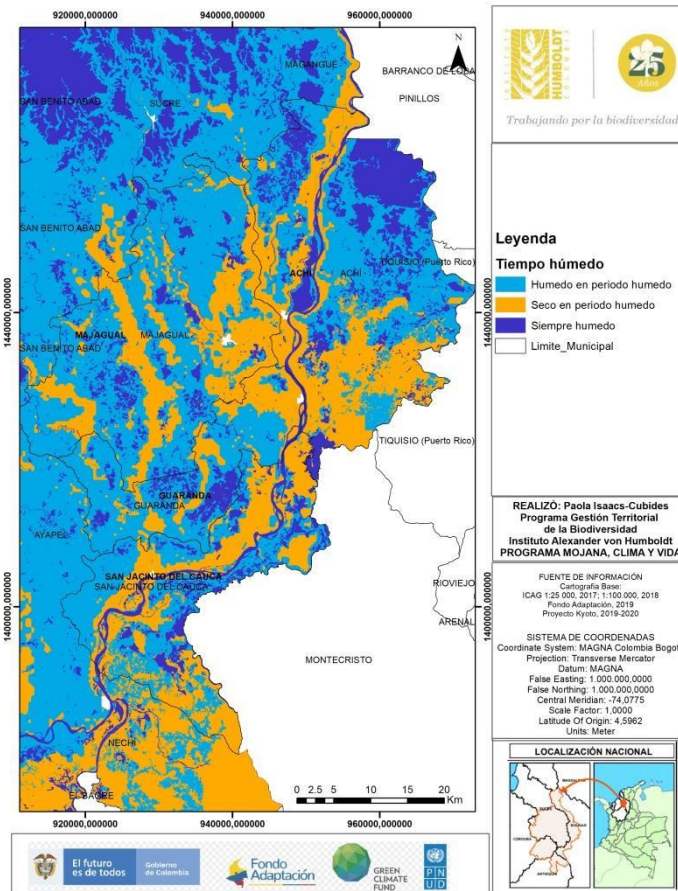


Figura 21. Áreas con tiempos de humedad reportados.

Segunda consideración, dadas las condiciones planas el área tiene vocación de uso se presenta mayormente vocación ganadera y agrícola, sin embargo, se propone manejo de la reconversión productiva (Figura 22).

Teniendo esto como base, se calculó la prioridad de restauración incluyendo los tipos de cobertura, la vocación de uso del suelo, las áreas de distribución original de zapales en presencia de coberturas intervenidas, las áreas núcleos incluidas en el análisis de conectividad y los corredores potenciales a restaurar. Adicionalmente, se debe restaurar a un margen de 50m en las áreas de caños y quebradas, incluir las áreas de erosión y un área de influencia de las áreas naturales (50m) donde se cumpla función de sello verde del parche (la misma empleada en el análisis de polinización).

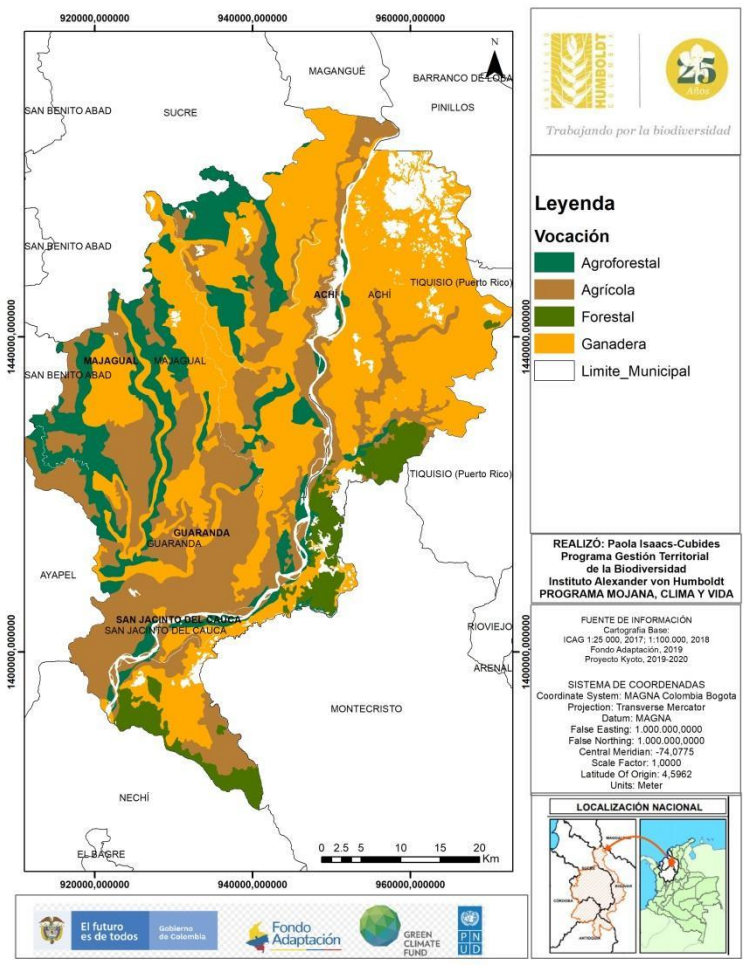


Figura 22. Vocación de uso de la tierra para los cuatro municipios priorizados.

Con estos elementos se tiene cerca de 2770 ha de zonas de bordes de caños a restaurar, 8480 ha con prioridad alta de acuerdo a la figura 20, mucha de esta área corresponde a zonas que eran zapales y que se han transformado. Según los modelos calculados, se requiere restauración de 36.400 ha de corredores y 116.000 en erosión. De acuerdo a lo propuesto de incremento de perímetro de parche en las áreas naturales, al incluir un buffer de 50m, que puede ser incluso de tipo forestal o agroforestal, se estarían restaurando aproximadamente 32.000 ha (Figura 23).

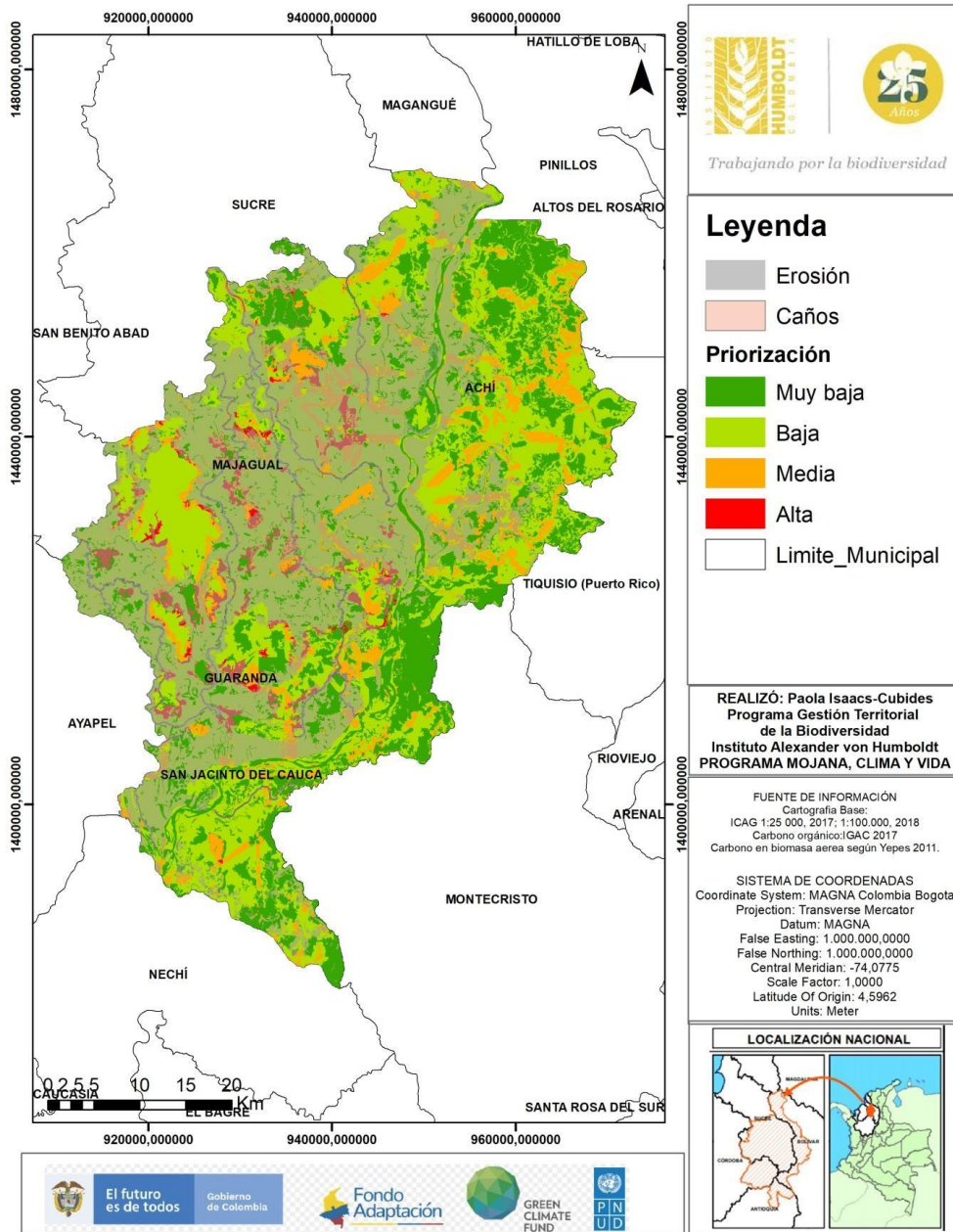


Figura 23. Priorización de áreas de restauración para los cuatro municipios priorizados.

De las áreas con prioridad alta y media, se estarían restaurando cerca de 7000 ha en zonas con baja prestación de servicios, 18.700 ha con servicios medios, por lo que se estarían impactando cerca de 25.000 ha para incrementar la prestación de servicios en paisajes anfibios funcionales.

En el archivo cartográfico es posible observar las categorías que aplican en una zona seleccionada incluyendo tipo de cobertura, zona de zapal, presencia de núcleos y presencia de corredores y se indica el tipo de vocación para conocer el uso potencial a implementar en la zona.

En este sentido cabe considerar que la cartografía trabajada, especialmente de cobertura, está elaborada para el año 2013, y que requeriría una validación de campo, por lo que en campo pueden variar las áreas. Sin embargo, se mantienen los mismos principios al trabajar en la implementación; incrementar perímetro de parches naturales, restaurar riveras con pérdida de cobertura en caños y quebradas, revegetar en zonas de zapal transformados y recuperar áreas erosionadas.

En informes posteriores se presentarán los arreglos de finca identificados durante el desarrollo y análisis de los demás insumos, para contribuir a que esta zonificación sea posible.



BIBLIOGRAFÍA

Adriaensen, F. J. P. Chardon, G. De Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gilinck & E. Matthysen. 2003. The application of least cost modeling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64: 233 – 247.

Aguilar-Garavito M, Ramírez W. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.

Aguilar, M. y P. Isaacs. El análisis espacial en la restauración ecológica. 2014. Capítulo 2.5. Pp. 95-109. En: Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. M. Cabrera y W. Ramírez (Eds.) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Arias-Alzate A, Botero-Cañola S, Sánchez-Londoño JD, Solari S. 2012. Informe final caracterización del estado de los felinos (Carnivora : Felidae) y su interacción con el hombre en el oriente de Antioquia. Medellín.

Bennett, A.F. 1999. Linkages in the landscape: role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Benjamin, F. E., Reilly, J. R., & Winfree, R. 2014. Pollinator body size mediates the scale at which land use drives crop pollination services. *Journal of Applied Ecology*, 51: 440–449. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12198>

Burkhard B, Maes J (Eds.) (2017) Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Bustamante-Zamudio, J. Amador-Moncada & O L Hernandez-Manrique. 2019. Landscape sustainability analysis: Methodological approach from dynamical systems. *Journal of Physics: Conference Series* 1414 (2019) 012010.

Carvalho L.G., Seymour C.L, Veldtman R. and S.W.Nicolson. 2010. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *Journal of Applied Ecology* 47: 810–820.

Correa Ayram C, Mendoza M, Etter A, Pérez D, Salicrup. 2017. Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators* 72: 895 - 909.

Cortés-Duque, J. y L. M. Estupiñán-Suárez. (Eds.). 2016. Las huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Fondo Adaptación. Bogotá D. C., Colombia. 340 pp.

De La Torre. A. et al. 2017. The jaguar's spots are darker than they appear: assessing the global conservation status of the jaguar *Panthera onca*. *Orix* 1 -17.

Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 632 pp.

Franco, C. A. 2011. Desarrollo de un modelo basado en análisis espacial multicriterio para la determinación de unidades de ordenación forestal. Caso departamento del Casanare. Tesis de Maestría en Geomática. Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia.

Genelleti, D. 2010. Incorporating biodiversity assets in spatial planning: Methodological proposal and development of planning support system. *Journal Landscape and Urban Planning*. 84: 252-265.

GREUNAL (Grupo De Restauración Ecológica). 2010. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Convenio de asociación no. 22 entre Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN). Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Hansen, A., L. Phillips, P. Jantz, K. Barnett, S. Goetz, M. Hansen, O. Venter, J. E.M. Watson, P. Burns, S. Aktinson, S. Rodríguez-Buritica, J. Ervin, A. Virnig, C. Supples. 2019. Data Descriptor: Global Humid Tropics Forest Structural Condition and Forest Structural Integrity Maps. University of Montana.

IDEAM, 2018. Estudio Nacional del Agua, Estudio Nacional del Agua 2018.

Isaacs, P. y A. Ariza. 2015. Monitoreo a la restauración ecológica desde la escala del paisaje. En: Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.

Isaacs Cubides, P.; M., Wilmer; Betancur, C.; Sierra, J. Ochoa, V.; Correa, C.; Aguilar, M.; Gómez, M.; Franco, M. Cristina; Marin., D; T. Waldrón, Ramírez, W.; Echeverrri, D. (2018) Resumen ejecutivo. Resultados del proceso de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM) en la jurisdicción de Cornare, Antioquia – Colombia. Quito, Ecuador: UICN-América del Sur. 24 p.

MADS. 2015. Plan nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Magioli, M., M. C. Ribeiro, K. M. Ferraz, M. G. Rodrigues. 2015. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest. *Animal Conservation*, 18 (6): 499-511.

McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel & E. Ene. 20012. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10:58-62.

Noss, R. 1991. Landscape connectivity: Different functions at different scales. Capítulo 2 En: *Landscape linkages and biodiversity*. Hudson W. E. Ed. Defenders of Wildlife. Island Press. Washington D.C. 197 p.

Noss, R. & A. Y. Cooperrider. 1994. *Saving Natures Legacy: Protecting and restoring biodiversity*. Defender of Wildlife. Island Press. Washington D. C. 417 p.

Portocarrero-Aya, M., Díaz, J., 2017. Marco conceptual y metodológico y resultados de un modelo de estado y tendencias de la biodiversidad del proyecto hidroeléctrico Ituango.

Rempel, R.S., D. Kaukinen, & A.P. Carr. 2012. Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.

Ribeiro, M. C.; Paglia, A.; Martensen, A. C.; Cunha, A. A.; Borges, B. D.; Guedes, F. B.; Prem, I.; Ribeiro, J. W.; Galetti, M.; Bernardo, R.; Salmons, Y. B. Estratégias para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica incorporando múltiplas iniciativas e escalas. In: André A. Cunha & Fátima B. Guedes. Brasília: MMA. (Org.). Mapeamentos para a conservação e recuperação da biodiversidade na Mata Atlântica: em busca de uma estratégia espacial integradora para orientar ações aplicadas. 1 ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2013, v. I, p. 137-166.

Rosa IMD, Purves D, Souza C Jr, Ewers RM .(2013). Predictive Modelling of Contagious Deforestation in the Brazilian Amazon. PLoS ONE 8(10): e77231. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077231>

SER. 2004. The SER international primer on ecological restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Simberloff D. 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: Is single-species management passe in the landscape era? Biological Conservation. 83: 247–57.

Tallis, H., Lester, S. E., Ruckelshaus, M., Plummer, M., McLeod, K., Guerry, A., White, C. 2012. New metrics for managing and sustaining the ocean's bounty. Marine Policy 36: 303–306. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.03.013>

Theobald, D.M. 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. En: Crooks, K.R. y M.A. Sanjayan (eds.). Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cambridge University Press. Pgs. 416-443.

Theobald, D.M., J.B. Norman & M.R. Sherburne. 2006. FunConn v1 User's Manual: ArcGIS tools for Functional Connectivity Modeling. Natural Resource Ecology Lab, Colorado State University. April 17, 2006. 47 p. www.nrel.colostate.edu/projects/starmap

IUCN. 2011. Principles and practice of forest landscape restoration: Case studies from the drylands of Latin America. Newton AC. Tejedor N (Eds). Gland, Switzerland: IUCN. xxvi + 383 pp.

IUCN y WRI 2014. Guía sobre la Metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM): Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel nacional o subnacional. Documento de trabajo (edición de prueba). Gland, Suiza: IUCN. 125 pp.

Yepes, A.P., Navarrete, D., Duque, a. J., Phillips, J.F., Cabrera, K.R., Alvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F., 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia.

Zeller, K. A., K. McGarigal, P. Beier, S. A. Cushman, T. W. Vickers y W. M. Boyce. 2014. Sensitivity of landscape resistance estimates based on point selection functions to scale and behavioral state: pumas as a case study. *Landscape Ecology* 29: 541 – 557.

Zeller, K. A., K. McGarigal, S. A. Cushman, P. Beier, T. W. Vickers y W. M. Boyce. 2016. Using step and path selection functions for estimating resistance to movement: pumas a as a case study. *Landscape Ecology* 31: 1319 – 1335.