

ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS COLOMBIANOS

*Una aplicación de la metodología de Lista Roja
de Ecosistemas*

(Vers. 2.0) - 2017

Autores

Andrés Etter
Ángela Andrade
Kelly Saavedra
Paula Amaya
Paulo Arévalo

	Estado crítico (CR)
	Estado en peligro (EN)
	Estado vulnerable (VU)
	Estado preocupación menor (LC)

Ejecutores y co-financiadores



Apoyo institucional nacional



Apoyo institucional y financiación internacional



Citar como:

Etter A., Andrade A., Saavedra K., Amaya P. y P. Arévalo 2017. Estado de los Ecosistemas Colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas (Vers2.0). Informe Final. Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional-Colombia. Bogotá. 138 pp.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MÉTODOS	11
2.1 Características generales de Colombia	11
2.2 Datos utilizados	12
2.3 Elaboración del Mapa de Ecosistemas potenciales	14
Sistema de clasificación	15
Construcción del mapa de ecosistemas potenciales	16
Validación del mapa de ecosistemas potenciales	17
2.4 Mapas multi-temporales de transformación de los Ecosistemas	19
Mapas multi-temporales 1970-2014	20
Escenarios futuros	21
Cualificación del nivel de transformación	22
Caracterización de Amenazas	22
2.5 Variabilidad climática y cambios en la distribución de especies	24
Mapas de cambios en la disponibilidad de agua lluvia	24
Mapas de cambios en la presencia de procesos de dispersión y polinización	26
2.6 Aplicación del sistema de evaluación LRE	29
Evaluación del criterio A	29
Evaluación del criterio B	29
Evaluación del criterio C	30
Evaluación del criterio D	30
3. RESULTADOS	33
3.1 Los ecosistemas potenciales: Clasificación y cartografía	33
Aspectos generales de la diversidad de ecosistemas	33
Descripción general de los Biomas	33
Descripción de los ecosistemas	37
3.2 Procesos de transformación de los ecosistemas	37
Evolución multi-temporal del proceso de transformación y reemplazo.	37
3.3 Pronósticos de degradación futura de componentes y procesos físicos y bióticos	40
La degradación ambiental: cambios en la disponibilidad de agua lluvia durante los próximos 50 años (Criterio C2)	40
La pérdida y degradación histórica (D1, D3) y futura (D2) de procesos bióticos	42

3.4 Evaluación LRE	45
Evaluación del Criterio A	48
Evaluación del Criterio B	51
Evaluación del Criterio C	57
Evaluación del Criterio D	58
Evaluación general final	61
Procesos de transformación y amenaza por ecosistemas	64
4. Aplicaciones de la evaluación de Lista Roja	67
4.1 Una visión del Sistema de Áreas Protegidas y su representatividad desde la Lista Roja de Ecosistemas	67
4.2 Relación entre la lista roja de ecosistemas (RLE) y la lista roja de especies (RLI)	78
4.3 Identificación de prioridades para restauración	80
4.4 Implementación de la LRE en la plataforma virtual <i>Tremarctos-Colombia_3.0</i>	83
5. DISCUSIÓN	87
5.1 Generalidades	87
5.2 Limitaciones	88
5.3 Programa de actualización y monitoreo propuesto de la RLE colombiana	89
6. CONCLUSIONES	91
7. REFERENCIAS	92
8. ANEXOS	98

PRESENTACIÓN

La biodiversidad es un componente fundamental de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos necesarios para soportar la vida y los requerimientos humanos, que está siendo crecientemente amenazado por las actividades humanas y el cambio climático. Como respuesta a este escenario, ha surgido la preocupación de contar con criterios adecuados y unificados para evaluar la transformación de ecosistemas y de los servicios ecosistémicos asociados a estos, entre los cuales ha surgido la iniciativa de establecer la Lista Roja de Ecosistemas por parte de la UICN. El propósito de este trabajo fue la implementación de nuevos enfoques y ajustes metodológicos sobre la propuesta de la implementación de la Lista Roja de Ecosistemas de la UICN para Colombia en su primera versión, con la finalidad de actualizar el estado y las vulnerabilidades de los ecosistemas colombianos a nivel nacional.

La aplicación de este marco analítico permitió identificar la existencia de 22 ecosistemas (27%) en estado CRÍTICO (CR). Adicionalmente, 14 ecosistemas (17%) quedaron catalogados como EN PELIGRO (EN), lo que quiere decir que casi la mitad de los ecosistemas colombianos presentan condiciones que amenazan su integridad, y por consiguiente también su capacidad de proveer servicios a la sociedad. Los aspectos más importantes para determinar el nivel de amenaza fueron en la mayor parte de los casos la reducción del área original de los ecosistemas, producto de la expansión histórica de la frontera agrícola y los bajos niveles de conservación de remanentes de estos ecosistemas en los mosaicos de los paisajes rurales del país. Las amenazas futuras derivadas del cambio climático tendrían un mayor efecto en las regiones Andina y Caribe por la pérdida en la disponibilidad de agua y el efecto sobre procesos bióticos analizados.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente al Programa de Manejo de Ecosistemas de la UICN bajo la dirección de Edmund Barrow, y a la Comisión de Gestión de Ecosistemas y a la Lista Roja de Ecosistemas y sus líderes de grupos temáticos, David Kieth y Emily Nicholson. Igualmente agradecer el apoyo de la Fundación Provita, especialmente a Jon Paul Rodriguez, Tina Olivera e Irene Zager.

La Fundación Gordon y Betty Moore, y la Fundación Mava por la financiación. La Universidad Javeriana y Conservación Internacional-Colombia, quienes co-financiaron este proyecto y brindaron apoyo permanente. Al doctor Fabio Arjona, director de Conservación Internacional Colombia por su apoyo permanente.

Agradecemos el apoyo administrativo prestado por Carlos A. Villamizar, Janeth Torres y Fabiola Mendoza (U. Javeriana), Felipe Cabrales, Dorelly Estepa y Yessica Martínez (C. Internacional), y Janiel Navas (Provita).

Agradecemos al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Colombia, al Instituto Alexander von Humboldt (Colombia), a los miembros colombianos de la Comisión de Gestión de Ecosistemas y a los miembros del Comité Colombiano de la UICN que participaron en los talleres técnicos.

Al Ing. Tito Muto (Conservación Internacional- Colombia) por el montaje de la LRE en el portal *Tremarctos Colombia.3.0*, que hace accesible la evaluación de la LRE a los tomadores de decisiones y al público en general.

1. INTRODUCCIÓN

La expansión de la frontera agrícola y los cambios en el uso de la tierra constituyen las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel global (Norris 2008), así como de las emisiones de gases de efecto invernadero (Josep et al. 2007). Durante los últimos 50 años, los ecosistemas terrestres y acuáticos del mundo han sido intervenidos y modificados progresivamente por la humanidad con el fin de satisfacer las demandas de la creciente población mundial, incluso se prevé que los niveles de demanda que habían para el siglo XX se dupliquen para el año 2050 (Tilman et al. 2002). A raíz de estas transformaciones y su impacto sobre los servicios ecosistémicos asociados, se estableció que para el 2005 el 60% de los servicios ecosistémicos del mundo estaban degradados o utilizados de manera no sostenible (MEA 2005).

La biodiversidad es un componente fundamental de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos necesarios para soportar la vida y los requerimientos humanos. A futuro, se prevé que, bajo los actuales niveles de consumo y debido al cambio climático, el aumento de la población y la expansión de la economía mundial, se podría intensificar la degradación ecosistémica y la pérdida de biodiversidad.

Como respuesta a este escenario, ha surgido la preocupación de contar con criterios adecuados y unificados para evaluar la transformación de ecosistemas y de los servicios ecosistémicos asociados a estos. Una de las iniciativas surgió en el seno del Convenio de Diversidad Biológica de 2010 de la COP 10, la definición y propuesta de las metas AICHI. El propósito de estas metas es asegurar la conservación de la biodiversidad como soporte al funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de los servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, necesarios para alcanzar las metas de desarrollo del milenio. De las 20 metas Aichi, la 5ª hace referencia explícita a la Pérdida y la degradación de Hábitat, como el principal motor de cambio de los sistemas terrestres y acuáticos. Se mencionan particularmente, la conversión de sistemas naturales, incluyendo bosques y sabanas, a tierras agrícolas y pastizales, procesos que han determinado una considerable reducción del área de sistemas naturales y a menudo la riqueza en especies (Leadley et al. 2014).

Si tomamos la definición amplia de la biodiversidad (Noss 1990), la conservación de esta requiere abordar no solo el componente biótico, sino también los procesos determinados por las interacciones entre las especies (e.g. dispersión, polinización, predación, herbivoría) y los factores del ambiente físico y el hábitat. Debido a que la biodiversidad se manifiesta en múltiples niveles, resulta esencial que la evaluación y la planificación de la conservación de la biodiversidad incluya información sobre los diferentes niveles. Sólo con un enfoque multi-

escalar será posible entender y manejar de manera comprensiva las amenazas actuales y potenciales, y evaluar los impactos sobre los sistemas ecológicos y la biodiversidad en general.

Tradicionalmente ha habido un énfasis en la información a nivel de especies que ha dado lugar a iniciativas como la Lista Roja de Especies de la UICN iniciada en 1964 (IUCN 2012). Esta iniciativa ha sido muy exitosa y se ha convertido en un referente y parámetro comparativo de la evaluación del estado de la biodiversidad a nivel mundial. Sin embargo, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio y las metas AICHI, han hecho evidente la necesidad de generar insumos complementarios que permitan informar sobre niveles más generales del estado actual y los riesgos de pérdida de la biodiversidad como los ecosistemas, que permitan apoyar la toma de decisiones y la gestión amplia de los ecosistemas.

La UICN, en su interés de contribuir con la conservación de la biodiversidad, ha venido trabajando desde el 2004, en la elaboración de una herramienta que permita la evaluación sistemática de los ecosistemas, considerando los procesos ecológicos y las interacciones entre especies (Rodríguez et al. 2007). En el 2014 el Concejo de la UICN adoptó, como estándar global, una serie de Categorías y Criterios que constituyen el fundamento de la Lista Roja de Ecosistemas (LRE) (Keith et al. 2013).

La LRE es una herramienta de interés para la conservación y el manejo de los recursos naturales, pero ante todo es una herramienta de evaluación de riesgos. Las unidades de análisis son los ecosistemas, cuyos límites son una aproximación a la distribución espacial de las entidades ecológicas. La LRE constituye un insumo importante para los procesos de priorización o valoración de ecosistemas para su conservación, o la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos o unidades culturales, sin embargo puede usarse como insumo o información de contexto de esos procesos. La LRE permite la identificación de amenazas y alertas tempranas para apoyar la priorización y cumplimiento de objetivos de conservación, y la identificación de prioridades de restauración y monitoreo como respuesta al cambio climático. También contribuye en escenarios como la educación ambiental, impulsando a la conciencia colectiva sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, así como la planificación del uso de la tierra y la legislación ambiental. Contribuye al seguimiento de las Aichi Targets, especialmente la 5, pero también a la 11, 12, 12, 14, 15 y 16 (IUCN 2014).

El protocolo de la LRE está en una primera etapa de implementación, por lo cual va a ser necesaria la aplicación en varios ámbitos para identificar su potencial. La LRE en Colombia, ofrece una importante posibilidad de identificar alertas tempranas de usos no sostenibles de la tierra, apoyando los procesos de conservación al identificar áreas prioritarias tanto de conservación como de restauración. Así mismo, la LRE puede apoyar el proceso de identificación de “Zonas Prohibidas” y el desarrollo de políticas sobre las mismas, que puedan ser altamente efectivas en la conservación de áreas consideradas relevantes por la riqueza de

especies y la consecuente pérdida de hábitat, y por los servicios ecosistémicos que poseen (CBD 2014).

Con el fin de fortalecer los esfuerzos adelantados para la conservación, es necesario el desarrollo de instrumentos administrativos y legislativos que garanticen la protección de aquellos ecosistemas en categorías altas de amenaza. Se requiere contar con un instrumento que oriente las acciones de conservación de los ecosistemas amenazados y que facilite el cumplimiento de las funciones de control. Tal cómo aplica para las especies legalmente amenazadas en la resolución 584 de 2002 (COLOMBIA 2002a), es necesaria la creación de una resolución similar para ecosistemas, donde se declaren como “ecosistemas legalmente amenazados” en el territorio nacional aquellos que se incluyen en la lista roja de ecosistemas de Colombia, especialmente los catalogados con categoría de amenaza en peligro (EN) y en peligro crítico (CR).

Como lo establece la Carta Política de 1991 en el artículo 79 es deber del Estado la conservación de áreas de especial importancia ecológica, adicionalmente en el artículo 80 señala que el Estado es el encargado del manejo de los recursos naturales, donde se garantice su conservación, además debe prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental (COLOMBIA 1991). Teniendo en cuenta lo anterior, los ecosistemas en categorías altas de amenaza (CR o EN) deben considerarse como áreas de especial importancia biológica y ecológica, con el fin de garantizar su priorización en planes de conservación.

Por otro lado, la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE (COLOMBIA 2012) resalta la efectividad de las acciones que se han realizado históricamente para la conservación de la biodiversidad (áreas protegidas, corredores biológico, entre otros), pues han contribuido al mantenimiento de la provisión de servicios ecosistémicos, de los cuales depende el desarrollo de las actividades humanas, así mismo al mantenimiento de servicios de aprovisionamiento, regulación y soporte, y servicios culturales. Así pues, la conservación de ecosistemas con evaluaciones altas de amenaza permitiría el mantenimiento de la provisión de servicios ecosistémicos brindados por estas áreas.

La evaluación de los ecosistemas en Colombia debe considerarse en los planes de ordenamiento territorial, el instrumento donde se establecen las disposiciones determinantes de ordenamiento del suelo rural y del desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo, además de adoptarse otras disposiciones (COLOMBIA 2007). De tal manera que se incluyan aquellas áreas en categoría de amenaza en peligro (EN) y en peligro crítico (CR) como territorios que hacen parte de la estructura ecológica principal, y que por consiguiente es de vital importancia su preservación, conservación y restauración, debido a que pueden brindar una capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de la

población. Lo anterior extendería la protección de estos ecosistemas a un nivel legislativo, pues el Decreto 3600 (COLOMBIA 2007), siguiendo los términos del artículo 35 de la ley 388 (COLOMBIA 1997), establece que éstas zonas constituyen suelo de protección. En tal caso de no representar importancia socioeconómica, estos sitios deberían integrarse en las áreas de especial importancia ecosistémica, donde también son incluidos los páramos, sub-páramos, nacimientos de agua, humedales, y reservas de flora y fauna, protegidos bajo el decreto nombrado anteriormente.

En términos de licencias ambientales, los ecosistemas con altas categorías de amenaza deberían ser incluidos a nivel legal como ecosistemas de especial importancia ecológica, de esta forma la autoridad ambiental, en caso que se quieran realizar proyectos en estas áreas, deberá solicitar un concepto previo al Ministerio de Ambiente (COLOMBIA 2014), pues es su compromiso la conservación y el uso de estos ecosistemas (COLOMBIA 1993).

Dependiendo del tipo de ecosistema evaluado dentro de una categoría de alto riesgo se tendrán que considerar algunas políticas específicas. Por ejemplo, si se trata de un ecosistema boscoso se deberá aplicar la Política de Bosques (1996) y el Plan Nacional de Desarrollo Forestal (COLOMBIA 2000), ya que uno de sus objetivos es la restauración y conservación de ecosistemas boscosos degradados, así como la protección de bosques degradados. Si por otro lado se trata de ecosistemas costeros, como bosques de manglar y/o bosques de transición como Natal y Pangal, será necesaria la incorporación de la política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos (COLOMBIA 2001) y el Programa nacional de uso sostenible, manejo y conservación de ecosistemas de manglar (COLOMBIA 2002b). En el caso de ecosistemas de alta montaña, se deberá tener en cuenta el Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana (COLOMBIA 2002c). Por otro lado, si se trata de ecosistemas de zonas secas se deberá considerar el Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia (COLOMBIA 2004), debido a que uno de sus objetivos es el manejo sostenible de estos ecosistemas.

Para Colombia la distribución y cartografía de los ecosistemas actuales se ha abordado en varios estudios a nivel nacional (Etter 1998; IDEAM et al. 2007), regional (Rodríguez et al. 2004; Romero et al. 2009) y varios estudios a nivel local. Algunos de estos contienen información sobre los usos y coberturas de los ecosistemas transformados.

Adicionalmente, algunos estudios han identificado los procesos de transformación de los ecosistemas como la deforestación (Armenteras et al. 2003; Etter et al. 2006a; Etter et al. 2006b; González et al. 2011) o el reemplazo de los ecosistemas de sabanas (Etter et al. 2011b). Las tasas actuales de deforestación están alrededor de las 150.000 ha/año (González et al. 2011), mientras la tasa de transformación de sabanas tropicales alcanzan las 100.000 ha/año (Etter et al. 2011b). Otros estudios han analizado las causas y los patrones históricos

de transformación de los ecosistemas los cuales permiten dimensionar el impacto humano a escalas temporales mayores (Etter et al. 2008; Palacio 2001).

Varias de las fuentes anteriores fueron integradas por Etter et al. (2011a) para desarrollar un análisis más comprensivo de la huella humana en los ecosistemas colombianos.

Sin embargo, a pesar de estos avances aún existen vacíos en el conocimiento de los impactos de la actividad humana que puedan ser utilizados en procesos de planificación, y ser apropiados por personas e instituciones. En particular, para tener una visión dinámica de la transformación de los ecosistemas y evaluar los efectos de las actividades humanas, es necesario tener un referente de los ecosistemas “potenciales” (u originales), así como una serie de mapas multi-temporales de transformación. Una primera aproximación de ecosistemas potenciales fue desarrollada por Etter et al. (2008), pero esta tuvo que ser actualizada y validada con nueva información disponible.

El propósito de este trabajo fue la implementación de la propuesta metodológica de la Lista Roja de Ecosistemas de la UICN (Keith et al. 2013), con la finalidad de analizar y evaluar el estado actual y las vulnerabilidades de los ecosistemas colombianos a nivel nacional. Para este fin la investigación se desarrolló en varios pasos, empezando por la generación de una base de información uniforme a nivel nacional de los ecosistemas potenciales de referencia, la generación de los mapas de escenarios históricos y futuros de transformación, y los factores explicativos de los procesos de transformación, necesarios para aplicar el protocolo de la Lista Roja. La segunda fase correspondió a la aplicación del protocolo de la LRE para identificar los niveles de amenaza de los ecosistemas del país, y los factores de amenaza más importantes. Finalmente se elaboró una discusión de los alcances y las limitaciones del ejercicio, y una valoración de los avances aportados por el proceso.

2. MÉTODOS

2.1 Características generales de Colombia

Colombia (1.1 millones de km²) se encuentra en la zona ecuatorial entre los 10° N y los 2° S, y consta de seis grandes regiones biogeográficas: Andina (278,000 km²), Inter-andina (44,000 km²), Caribe (115,400 km²), Pacífico (74,600 km²), Amazonía (455,000 km²), y Orinoco (169,200 km² (Figura 1). Entre estas regiones hay grandes variaciones de altitud (0 - 5800 m) y orografía, de precipitación media anual (300 – 10,000 mm) y número de meses secos, y de las condiciones del sustrato geológico y los suelos. Lo anterior determina que una característica sobresaliente de la geografía colombiana sea, su alta variabilidad ambiental en relación con su tamaño geográfico.

Los ecosistemas colombianos van desde algunos desiertos y sabanas tropicales, hasta los bosques tropicales muy húmedos y montañas tropicales cubiertas de nieve, pasando por diferentes estados intermedios. La alta diversidad de ecosistemas y complejidad orográfica ha producido altos niveles de endemismo y riqueza de especies, lo que hace de Colombia uno de los países megadiversos (Hernández et al 1992; Myers et al 2000). Los Andes del Norte, por ejemplo, es una región con una de las mayores concentraciones de aves con distribución geográfica restringida del mundo, y por lo tanto muy susceptibles a la pérdida y extinción de biodiversidad por la deforestación y la transformación de los ecosistemas (Orme et al. 2005; Pimm et al. 2006).

Durante los últimos milenios, Colombia ha sufrido varios periodos históricos de transformación del paisaje humano, incluidos los periodos precolombinos y coloniales, que han llevado a una huella humana acumulativa que se extiende sobre gran parte de su territorio, especialmente las regiones Andina y Caribe (Etter et al. 2008).

Hoy la población total supera los 48 millones, un aumento de más de diez veces desde 1900. Desde la década de 1970, Colombia se ha convertido en un país cada vez más urbano e industrializado, con el 75% de la población residiendo en zonas urbanas, y más de 100 ciudades con un número de habitantes superior a 50.000. Con esta transición, la población rural se está estabilizando y la tasa media de crecimiento de la población nacional cayó por debajo del 2% a finales de 1990 DANE (2008). La población, histórica y actualmente, ha tendido a concentrarse en las regiones Andina y Caribe que tienen una densidad de población rural de aproximadamente 33 personas por km², mientras que las regiones del Pacífico, Orinoco y Amazonas tienen densidades mucho menores de entre 5 y 17 personas por km². Sin embargo, la frontera agrícola sigue un proceso de expansión, con una tasa de deforestación anual superior a las 200,000 hectáreas (IDEAM, 2015).

La economía colombiana se basa principalmente en la minería (petróleo, carbón y níquel), los cultivos de exportación (café, flores) y algunas exportaciones industriales. La superficie dedicada a la ganadería es de más del 85% de la superficie agropecuaria (Etter et al. 2008). La gobernabilidad en las áreas de frontera aún facilita la expansión de la frontera agrícola, a menudo alimentada por una economía de exportación de cultivos ilícitos en zonas de selva remota (Coca -*Erythroxylum coca*- en las tierras bajas, y opio -*Papaver somniferum*-, en las tierras altas), que también causa inestabilidad social y política.

De acuerdo con la información existente, a nivel general aproximadamente el 35% del área de los ecosistemas terrestres ha sido reemplazada por ecosistemas antropogénicos (Etter et al. 2006a). Una de las principales consecuencias es el impacto sobre la biodiversidad. Por ejemplo, las estimaciones de las listas rojas de la UICN muestran que Colombia con 214, tiene el mayor número de especies amenazadas de anfibios, muchas de las cuales son endémicas (<http://www.iucnredlist.org/initiatives/amphibians>).

Sin embargo, de acuerdo con el análisis espacial de la huella humana el impacto sobre los ecosistemas es variable en términos de su intensidad y extensión (Etter et al. 2011a). Este estudio indica que incluso áreas importantes de las áreas de conservación presentan niveles de impacto humano considerable.

2.2 Datos utilizados

La elaboración de la Lista Roja de Ecosistemas requiere de una serie de insumos mínimos que incluyen los siguientes (Keith et al. 2011):

- Una información ecológica básica de referencia que consiste en una representación espacial de los ecosistemas potenciales de referencia del área de estudio.
- Una secuencia multitemporal de mapas históricos (de los últimos 50 años) que representen el estado del reemplazo y transformación de los ecosistemas originales como producto de la expansión e intensificación del uso de la tierra.
- Un escenario de proyección futura transformación de los ecosistemas originales (50 años).
- Información espacializada sobre procesos físicos de degradación históricos acumulados (50 años) (p.ej. precipitación, suelos, aguas).
- Información espacializada sobre disrupción de procesos bióticos históricos acumulados (50 años) (p.ej. dispersión, polinización, migración).

La Tabla 1, muestra los insumos y fuentes utilizados en este caso particular.

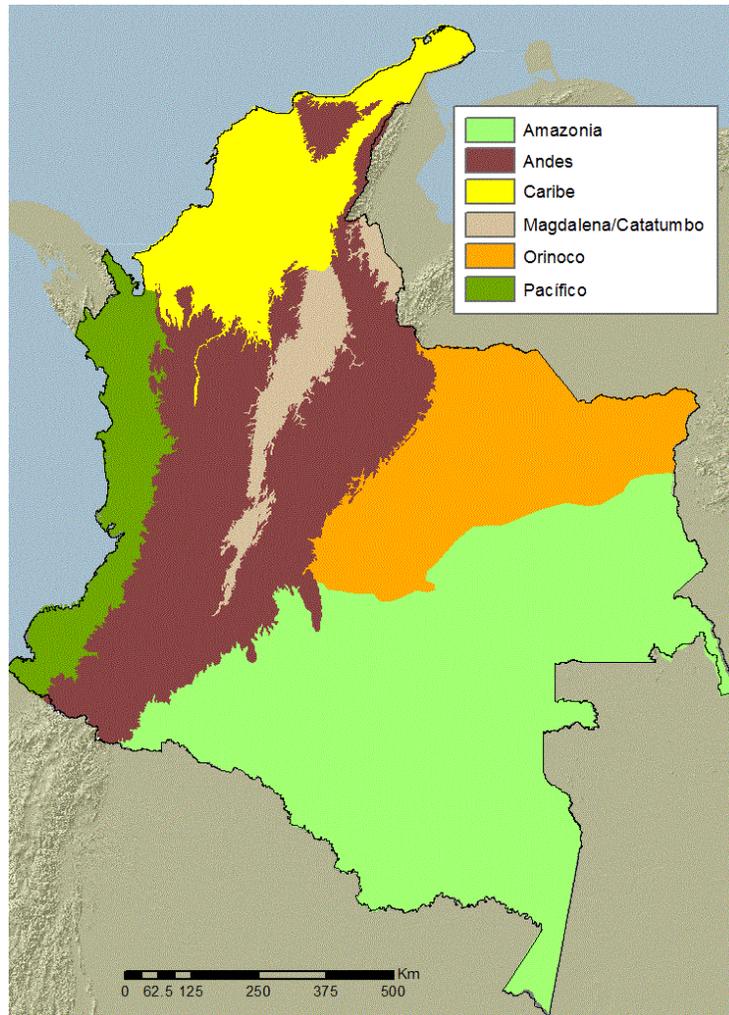


Figura 1. Mapa de Colombia que muestra la ubicación de las regiones naturales.

Tabla 1. Insumos utilizados para el desarrollo del trabajo.

Ítem	Resolución/ Escala	Fuente
Clima	1km	WorldClim, IDEAM (2017)
Suelos	1:100.000	IGAC (2014)
Ecosistemas	250m, 1:100.000	Etter (1998), Etter et al. (2008), IDEAM (2007)
Coberturas	30m, 90m	Imágenes de satélite (Landsat, SPOT, QBird, IKONOS, BING)
Altitud, Relieve	90m, 30m	SRTM, ASTER
Distribución de especies	n.a.	GBIF, SIB, IAvH (2015)

Para los análisis toda la información espacial se transformó a formato raster uniforme, con una resolución de 250m (6.25 Ha).

2.3 Elaboración del Mapa de Ecosistemas potenciales

Uno de los insumos cruciales para poder desarrollar la metodología de LRE propuesta por UICN es la elaboración de un modelo de la posible distribución de los ecosistemas si no se hubiera dado la intervención y transformación humana. Para esto se asumieron las condiciones actuales del clima y los sustratos.

El primer paso en la elaboración de un mapa de ecosistemas, es el diseño y aplicación de un modelo de sistema de clasificación, ya que esto determina las unidades de referencia. Lo anterior implica enfrentarse a lo que todos los modelos de clasificación de los sistemas de la naturaleza se enfrentan: limitaciones en representación resultantes de la necesidad de generar categorías excluyentes a partir de una realidad que se manifiesta mayormente en términos de patrones continuos basados en gradualidades transicionales de algún tipo.

Sin embargo, cuando hablamos de unidades con expresión geográfica, la clasificación y delimitación de “ecosistemas” parte necesariamente del concepto de la definición de sistema ecológico como sistema multi-escalar, en el sentido que el concepto puede aplicarse a diferentes niveles de detalle y extensión que cumplen con la definición de “sistema conformado por la de interacción entre componentes bióticos y abióticos”. Por lo tanto la representación de estos depende de la escala espacial (y temporal si es del caso), al igual que con cualquier representación cartográfica.

Aunque no existe una escala ideal para representar los ecosistemas, esta determina los patrones y procesos acerca de los cuales puede informarnos. Debido a que los patrones espaciales varían con la escala, el sistema de clasificación debe basarse en patrones anidados. En este sentido cada unidad delimitada se caracteriza por presentar un mosaico con un patrón de heterogeneidad propio que puede describirse en la forma de *asociaciones* (patrones regulares predecibles como topo-secuencias o gradientes altitudinales) o *consociaciones* (en el sentido de los edafólogos) de unidades ecológicas menores contenidas en ellas. Por lo tanto cualquier representación espacial, en menor o mayor medida, corresponde a unidades que son “mosaicos espaciales y funcionales”, raramente unidades totalmente homogéneas o “puras”.

Los factores que determinan los patrones ecológicos a diferentes escalas varían. En general el clima tiende a dominar patrones más amplios por ser una característica más general (Walter 1979). Luego siguen patrones de geofomas y atributos asociados como los suelos y

sus respuestas en términos de vegetación. Los insumos principales disponibles y utilizados para la elaboración de mapas de ecosistemas son el clima, el relieve, los suelos, la hidrología y la vegetación.

Sistema de clasificación

A nivel general la clasificación de las unidades ecológicas se acoge a la definición de Bioma: "the world's major communities, classified according to the predominant vegetation and characterized by adaptations of organisms to that particular environment" (Campbell 1996).

La construcción del modelo se basó en la propuesta conceptual de Walter (1979), quien desarrolló un sistema de clasificación que agrupa los biomas de la Tierra en: i) la Geo-Biosfera: Conjunto de los Ecosistemas Terrestres; y ii) la Hidro-Biosfera: Conjunto de los Ecosistemas acuáticos.

Subdivisiones de la Geo-Biosfera:

Unidades correspondientes a ambientes grandes y uniformes de la biosfera en términos de clima y/o geoforma, que abarcan conjuntos de ecosistemas. Entre estos reconoce cuatro categorías generales:

ZONOBÍOMAS: Unidades delimitadas por las Zonas Climáticas (9 a nivel mundial) que determinan tipos ZONALES DE VEGETACIÓN.

ZONOCOTONOS: áreas de transición (Zonas de tensión) climática entre ZONOBÍOMAS.

OROBÍOMAS: corresponden a ambientes montañosos pronunciados dentro de los Zonobiomas, que producen unidades orográficas que pueden subdividirse en franjas altitudinales determinadas por cambios en la temperatura y la precipitación.

PEDOBÍOMAS: condiciones INTRAZONALES dentro de los ZONOBÍOMAS. En este caso la vegetación y ecosistemas resultantes están más directamente relacionados con las condiciones del sustrato local (roca, agua y suelo) que con las climáticas: PEDOBÍOMAS (PSAMMOBÍOMAS-suelos en arenas lavadas y PEINOBÍOMAS-extremadamente oligotróficos) y LITOBÍOMAS-limitaciones por presencia de roca superficial.

En estos casos la condición de la vegetación zonal (p.ej. Bosque densos) cambia a condiciones más arbustivas (arbustales) o herbáceas (Herbazales o Sabanas), y la consistencia de las hojas mesófilas tiende a pasar a hojas con diferentes grados de esclerofilia: PEDOBÍOMAS SABÁNICOS, PEDOBÍOMAS ARBUSTIVOS, PEDOBÍOMAS FORESTALES.

Subdivisiones de la Hidro-Biosfera:

Unidades correspondientes a ambientes grandes y uniformes de la biosfera en términos de cubrimiento y temporalidad de la dinámica hídrica, que abarcan conjuntos de ecosistemas. Entre estos reconocen tres categorías generales:

HIDROBIOMAS: Ecosistemas acuáticos con un espejo de agua permanente, estático o corriente.

HELOBIOMAS: Ecosistemas determinados primariamente por la actividad de pulsos de inundación de agua dulce, como ocurre en las llanuras aluviales con cambios importantes en los niveles de agua. Varían mucho dependiendo de las características de precipitación del Zonobioma.

HALOBIOMAS: Ecosistemas determinados primariamente por la actividad de pulsos de inundación de agua salada o salobre, como ocurre en las planicies costeras. Varían dependiendo del nivel de acumulación de sales dependiendo de las características de precipitación del Zonobioma.

Construcción del mapa de ecosistemas potenciales

Para este trabajo se utilizó el enfoque implícito en la concepción y metodología de la Ecología del Paisaje de origen europeo (Zonneveld 1979). Se realizó la representación con base en la expresión material de los procesos ecológicos visibles en la geoforma y cobertura vegetal, pues con estos patrones se relacionan la mayor parte de la distribución de las especies y los procesos ecológicos. La construcción del mapa se desarrolló siguiendo el proceso secuencial que muestra la Figura 2.

En este caso específico el clima es utilizado de manera general indicativa, más no para definir un límite dado que las transiciones climáticas son muy graduales, lo que dificulta establecer límites ecológicos abruptos. El efecto ecológico del clima se modula mediante su interacción con las características de las geoformas y los suelos.

Por lo tanto, los límites espaciales entre unidades ecológicas están en general determinados por atributos macro-fisionómicos de los ecosistemas como las geoformas y la fisionomía de la cobertura vegetal, entre otros. Todos estos atributos son proxis que informan/expresan dimensiones de los ecosistemas.

Una vez identificados y delimitados los ecosistemas, se emplearon una serie de descriptores de éstos que conforman la base de datos del modelo e incluyen para el clima descriptores como el SPEI, PPT/ETP, PPT anual, T° Media anual, pendientes, altitud y suelos.

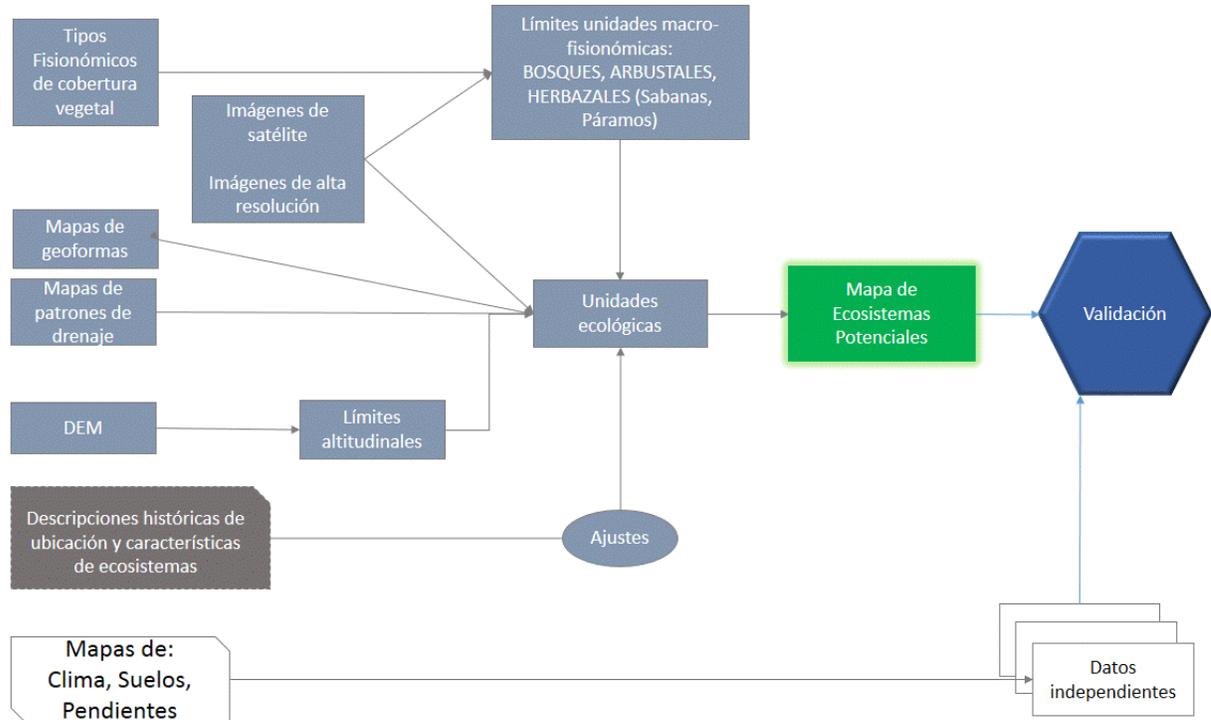


Figura 2. Diagrama de insumos y procesos para construcción de mapa de ecosistemas potenciales.

Validación del mapa de ecosistemas potenciales

Cuando se construye un modelo que busca representar algún aspecto de la realidad, uno de los puntos importantes es saber con qué nivel de confianza éste logra expresarlo. Una manera de medirlo, es analizar la posibilidad de reproducirlo en función de información relevante que no haya sido utilizada para su construcción. En este caso se llevó a cabo una validación de las unidades con datos independientes de variables climáticas, topográficas, regiones naturales y geomorfológicas (Figura 3).

Para esto se implementó un modelo tipo “árbol de decisión” que es una técnica de clasificación utilizada para la predicción de valores numéricos finitos, en cuyo caso se llaman “árboles de clasificación” (Frank *et al.* 1998). Uno de estos modelos es el C5.0, un algoritmo desarrollado por Quinlan (1993), utilizado para construir árboles de decisión a partir de datos de entrenamiento, donde el objetivo es predecir la respuesta de Y a partir de variables independientes X_1, X_2, \dots, X_p , mediante un árbol binario que extrae patrones informativos de los datos (Kuhn and Johnson 2013). Este procedimiento se resume en:

Dadas variables (vectores) de entrenamiento, $x_i \in R^n$, $i = 1, \dots, l$, y un vector de etiqueta $y \in R^l$, un árbol de decisión genera particiones del espacio de manera recursiva de tal manera que etiquetas iguales se agrupan.

Sean los datos en el nodo m representados por Q . Para cada división candidata $\theta = (j, t_m)$ consistente en una característica j y el umbral t_m , divida los datos en los subconjuntos $Q_{left}(\theta)$ y $Q_{right}(\theta)$.

$$Q_{left}(\theta) = (x, y) | x_j \leq t_m$$

$$Q_{right}(\theta) = Q \setminus Q_{left}(\theta)$$

La impureza en m se calcula utilizando una función de la impureza $H()$, cuya elección depende de la tarea que se está resolviendo (clasificación o regresión).

$$G(Q, \theta) = \frac{n_{left}}{N_m} H(Q_{left}(\theta)) + \frac{n_{right}}{N_m} H(Q_{right}(\theta))$$

Seleccione los parámetros que minimicen la impureza.

$$\theta^* = \operatorname{argmin}_{\theta} G(Q, \theta)$$

Luego se repite para los subconjuntos $Q_{left}(\theta^*)$ y $Q_{right}(\theta^*)$ hasta lograr la máxima profundidad admisible del árbol según, $N_m < \min_{samples}$, o $N_m = 1$.

Para este caso, se utilizó el software C5.0 (Quinlan 1993) para modelar la distribución de ecosistemas a partir de un modelo teórico que fue el mapa de ecosistemas potenciales, en función de variables biofísicas explicativas (climáticas, de relieve, edafológicas y geopedológicas) (Anexo 1).

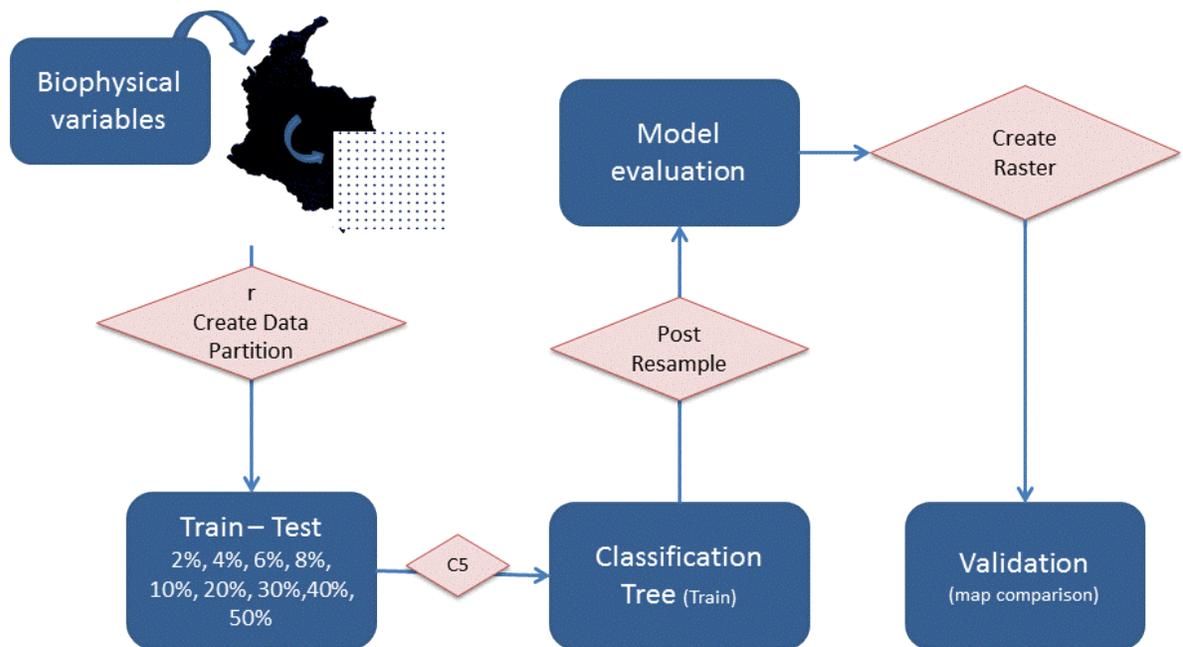


Figura 3. Proceso de validación del mapa de ecosistemas originales.

2.4 Mapas multi-temporales de transformación de los Ecosistemas

Otro componente esencial que la Lista Roja requiere como insumo para la evaluación de los *criterios A y B* (Keith et al. 2013), es una serie de mapas multi-temporales que identifiquen el estado de transformación pasada y en lo posible algunos escenarios futuros así:

- Los pasados 50 años (para nuestro caso 1965-2015), **A1**
- Los próximos 50 años (2015-2065), **A2a**
- Cualquier período de 50 años entre pasado y futuro (e.g. 1990-2040), **A2b**
- Desde 1750, **A3**

Además, para poder calcular las tasas de pérdida/reemplazo es importante poder contar en lo posible con varios datos temporales que permitan analizar mejor las tendencias. Para el caso colombiano se contaba con algunos mapas empíricos recientes (1990, 2000, 2010) (ver González et al. 2011), y algunas reconstrucciones históricas para 1970 y fechas anteriores elaborados por Etter et al. (2008) con énfasis en los ecosistemas boscosos. Sin embargo, los dos últimos carecen de la misma resolución espacial y detalle de los más recientes. Para el caso de la sabanas, se utilizaron los mapas de Etter et al. (2011b) para la Orinoquía.

Mapas multi-temporales 1970-2014

La transformación de los ecosistemas, la respuesta y la posibilidad de rastrearla, depende del contexto, pues los procesos de transformación y su detección presentan características particulares las cuales pueden variar considerablemente en el caso de ecosistemas contrastantes como los de tipo boscoso o los de carácter herbáceo, como las sabanas o los Páramos. Para tener en cuenta este aspecto, la elaboración de los productos cartográficos de transformación de ecosistemas tomó en cuenta inicialmente una agrupación de macrounidades fisionómico-ecológicas a partir del mapa de ecosistemas potenciales de referencia arriba expuesto (Figura 4):

- i) bosques
- ii) sabanas/desiertos
- iii) páramos.

Se construyó una serie homogénea de mapas multi-temporales que muestran el avance de la conversión de los ecosistemas naturales durante los últimos 45 años. Para esto se mapeó y analizó la transformación de cada una de las de macrounidades para cuatro períodos de tiempo con la información disponible: 1970, 1990, 2000 y 2014.

Para los ecosistemas forestales se utilizaron como primeros insumos los mapas de bosques del IDEAM (2014) (González et al. 2011). Estos mapas debieron ser ajustados y completados en las áreas categorizadas como “sin información” utilizando los datos adicionales disponibles en GoogleEarth y otras fuentes de imágenes de satélite (Landsat, MODIS, CBERS o de alta resolución como IKONOS y QuickBird).

El mapa de transformación de 1970 se utilizó el mapa elaborado por Etter et al. (2008), ajustándolo hasta donde fue posible con imágenes disponibles de Landsat 2 y 3 del período 1972-1977, tomadas del USGS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Para los ecosistemas de sabanas se utilizaron los datos de Etter et al. (2011b) e imágenes de satélite (Landsat, MODIS, CBERS o de alta resolución como IKONOS y QuickBird) más recientes. Para los ecosistemas de Páramo se construyeron mapas de transformación nuevos a partir de interpretación visual de imágenes de satélite (Landsat, MODIS, CBERS o de alta resolución como IKONOS y QuickBird) con base en la delimitación de los páramos del mapa de ecosistemas potenciales.

Posteriormente se integraron los mapas de transformación de los ecosistemas de Bosques y Arbustales, Sabanas y Páramos para construir cuatro capas de transformación: *Transformación_1970*, *Transformación_1990*, *Transformación_2000* y *Transformación_2014*.

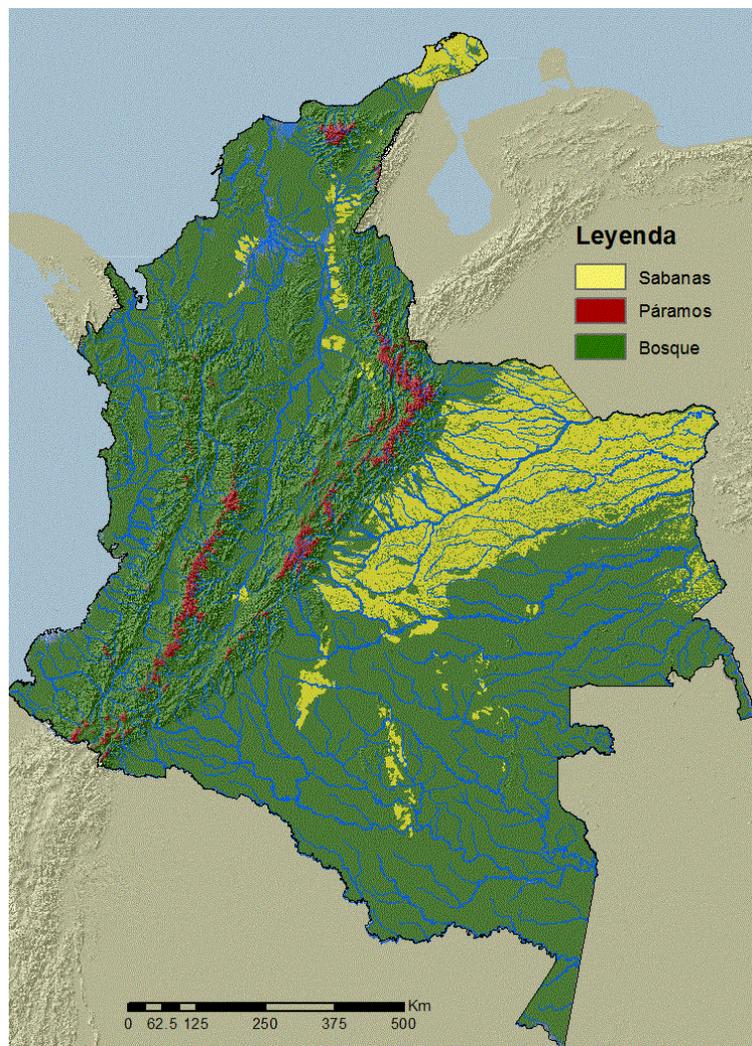


Figura 4. Mapa de macro-unidades de cobertura original, elaborado a partir del mapa de ecosistemas originales, empleado para construir los mapas de transformación, y para desarrollar los modelos de escenarios futuros de transformación de ecosistemas.

Escenarios futuros

Para la construcción del escenario futuro de transformación se implementó una adaptación del protocolo desarrollado en González et al. (2011), que utiliza el software Dinamica-EGO (Soares Filho et al. 2013) para la simulación de escenarios. Dado que los procesos de transformación de ecosistemas son muy diferentes en ecosistemas forestales, sabanas o Páramos, se elaboró un sub-modelo para cada uno de los tres tipos de macrounidades de cobertura (Figura 4), para simular la proyección de los cambios por separado, y utilizando las regiones naturales (Figura 1) como insumo.

Se construyó un escenario para el año 2040 (escenario+25), que correspondería a un modelo BAU (Business As Usual). En un futuro se podrían construir otros (p.ej. uno desarrollista y uno conservacionista) tal como se hizo en Etter y Arévalo (2014), o generar modelos para escenarios más lejanos como 2065 (escenario+50).

Cualificación del nivel de transformación

Según el protocolo de la LRE, respecto a la información requerida para el *criterio A*, la transformación de los ecosistemas frecuentemente se plantea en términos de estados excluyentes binarios (transformado/no transformado; intervenido/no intervenido). Sin embargo, esta simplificación es poco informativa si se quieren analizar los procesos que determinan las amenazas explícitas y sus magnitudes, para los cuales se requiere un conocimiento de los usos que están operando.

Además de los criterios de transformación, en el sentido del reemplazo o la desaparición del ecosistema que son utilizados para aplicar el *criterio A*, hay ejemplos que han buscado enfoques más reales y comprensivos como el esquema de Etter et al. (2011a), que analiza el impacto humano en función de la intensidad del uso, el tiempo de intervención y la vulnerabilidad biofísica del ecosistema a la intervención humana. La información de la Huella Espacial de este estudio fue utilizada como insumo para poder evaluar el aspecto B1a_{ii}, que incluye la “medida de calidad ambiental apropiada para la biota característica de un ecosistema”.

Por otra parte para informar el *criterio B1a_{iii}*, se calculó el cambio en el índice de fragmentación con base en el mapa de transformación 2014.

Caracterización de Amenazas

Otro insumo para la Lista Roja de Ecosistemas es la identificación y cualificación, de las amenazas presentes en cada ecosistema. Para este fin se identificaron algunos procesos constituyentes de amenaza, que se describieron para cada ecosistema identificado (Tabla 2).

Estos procesos se utilizaron para caracterizar cada uno de los ecosistemas donde hay indicios y evidencias empíricas de que están operando (Anexo 2). Por otra parte, se eligieron procesos y actividades con algún grado de amenaza sobre los ecosistemas y la biodiversidad, que contaban con información espacial. Se incluyeron proyectos de desarrollo de los sectores de energía, hidrocarburos, infraestructura y minería. También, información relacionada con los conflictos de uso del suelo (subutilización y sobreutilización) y datos de la densidad de cultivos ilícitos (ha/km²) a nivel nacional. Otros factores de amenaza incluyeron información sobre el nivel de riesgo de incendios, y la degradación de los suelos y las remociones en masa.

Tabla 2. Listado de procesos constituyentes de amenaza para los ecosistemas de Colombia.

Categoría	Proceso
Uso del suelo	Expansión frontera agrícola
	Intensificación agrícola
	Mecanización agrícola
	Degradación por compactación (pastoreo)
	Pastos introducidos para ganadería
	Erosión superficial por ganadería
	Ganadería extensiva
	Extracción de madera (comercial)
	Cultivos forestales de especies exóticas
	Fragmentación extensiva de coberturas (disrupción conectividad)
Hidrología	Degradación y desecación de turberas
	Pérdida de cobertura glaciaria por calentamiento
	Desecación de humedales
	Canalización de cauces
	Colmatación de cauces por erosión de altillanuras aledañas
	Interrupción de flujo hidrológico
	Disminución de infiltración con afectación en hidrología
Drenaje de sabanas	
Fuego	Quemas frecuentes
	Incendios forestales
	Supresión del fuego

Los aspectos anteriormente mencionados se evaluaron en términos de su severidad de ocurrencia en función de los siguientes niveles: Muy Alta, Alta, Moderada y Baja (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de severidad para evaluación de procesos amenazantes.

Severidad de procesos amenazantes	Proporción (área total proceso amenazante/área total ecosistema)
 Baja	0.1 - 0.4
 Moderada	0.4 - 0.7
 Alta	0.7 - 0.9
 Muy Alta	2.9 - 1.0

2.5 Variabilidad climática y cambios en la distribución de especies

Además de los insumos anteriores que dan cuenta de la pérdida en área y cambios en los patrones espaciales de los ecosistemas, otros insumos importantes para la aplicación de la LRE corresponden a cambios en componentes o procesos abióticos o bióticos que indican riesgos de degradación ambiental debidos a cambios en variables físicas (relacionadas con el clima, los suelos, la disponibilidad hídrica), o en variables bióticas (procesos claves como la dispersión de semillas polinización, migraciones, predación) que están contemplados en los *criterios C y D* (Keith et al 2013).

Mapas de cambios en la disponibilidad de agua lluvia

El criterio C busca analizar y evaluar cambios en variables físicas (abióticas) del ambiente, importantes en el funcionamiento de los ecosistemas. Entre estos se encuentran por ejemplo la disponibilidad de agua por la precipitación, los cambios en las características del suelo (profundidad efectiva, fertilidad, capacidad de acumulación de agua,...), o el régimen hidrológico (pulsos de inundación).

Para la evaluación del criterio C de degradación ambiental, se empleó el sub criterio C2 que evalúa la predicción de degradación de una variable abiótica en el horizonte temporal de los próximos 50 años respecto a un referente histórico (Keith et al., 2013). El componente abiótico evaluado fue el cambio en la disponibilidad hídrica entendida como la precipitación media mensual y anual, frente al patrón de variabilidad histórica. La Tabla 4 presenta los insumos utilizados.

Tabla 4. Fuentes de datos utilizados para la evaluación del Criterio C2.

	Número de estaciones	Periodo análisis	Fuente
<i>Series de precipitación histórica</i>	1369	1970 - 2016	IDEAM et al. 2015
<i>Series de precipitación escenario CC</i>	963	2017 - 2067	IDEAM et al. 2015
<i>Mapa de regiones de Colombia</i>	-	-	Etter et al. 2015
<i>Mapa de ecosistemas potenciales de Colombia</i>	-	-	Etter et al. 2015

Las series de precipitación históricas y del escenario futuro de CC fueron tratadas y seleccionadas según los criterios de calidad de la OMM (WMO, 2011). Para la construcción de los campos de precipitación media (26) y desviación estándar histórica (13) se realizó una interpolación con enfoque regionalizado utilizando el mejor de 3 diferentes métodos (IDW,

Kriging lineal y función de base radial) según la validación cruzada SLOO (Soenario, Plieger and Sluiter, 2010) (Figura 5).

A partir de estos campos se construyeron dos índices. El *índice de severidad relativa* (SR_i) tal y como proponen Keith et al. (2013), y el *índice de severidad con variabilidad* (SV_i) que describe la cantidad de veces en que la variabilidad histórica se ve superada por el cambio en la precipitación (Figura 5).

A partir de estos índices se generaron 6 clases de severidad. Las clases de severidad con variabilidad anual, mensual y total, y las clases de severidad relativa anual, mensual y total (CSV_a , CSV_b , CSV_c , CSR_a , CSR_b y CSR_c respectivamente) (Tabla 5).

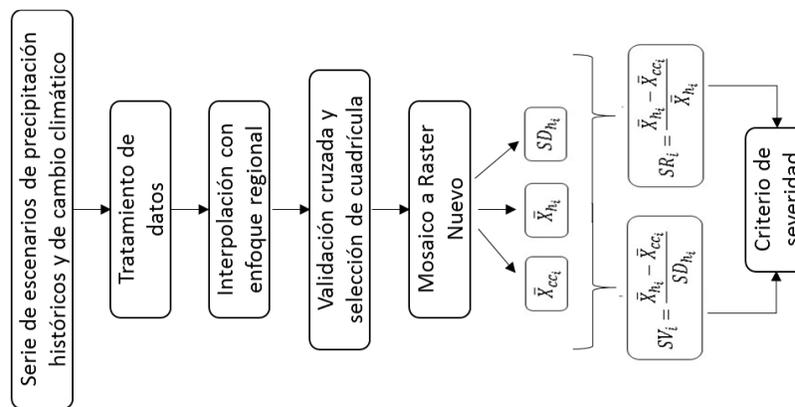


Figura 5. Diagrama de flujo metodológico para la obtención de los criterios de severidad (C2).

Tabla 5. Clases de severidad para evaluación de Criterio C2.

Clases de severidad		Métodos							
CSV_a	1. Reclasificar	SV_a	< -3.5	-3.5 -- 2.5	-2.5 -- 1.96	-1.96 -- 1.96	1.96 -- 2.5	2.5 -- 3.5	> 3.5
		CSV_a	-3	-2	-1	0	1	2	3
CSV_b	2. Reclasificar	SV_i	< 0.3	-0.3 -- 0.3	> 0.3				
		SV_i	-1	0	1				
	3. Algebra de Mapas	$SV_m = \sum_{i=1}^{12} CSV_i$							
	4. Reclasificar	SV_m	< -6	-5	-4	-3 -- 3	4	5	> 6
		CSV_b	-3	-2	-1	0	1	2	3

Clases de severidad	Métodos																																	
CSV_c	1. Álgebra de Mapas	$SV_t = CSV_a + CSV_b$																																
	2. Reclasificar	<table border="1"> <tr> <td>SR_t</td> <td><-</td> <td>-</td> <td>-3--</td> <td>-1-</td> <td>2-</td> <td>4</td> <td>></td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td></td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>CSR_c</td> <td>-3</td> <td>-</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	SR_t	<-	-	-3--	-1-	2-	4	>		5	4	2	1	3		5	CSR_c	-3	-	-1	0	1	2	3			2					
SR_t	<-	-	-3--	-1-	2-	4	>																											
	5	4	2	1	3		5																											
CSR_c	-3	-	-1	0	1	2	3																											
		2																																
CSR_a	1. Reclasificar	<table border="1"> <tr> <td>SR_a</td> <td><-</td> <td>-0.8--</td> <td>-0.5--</td> <td>-0.3-</td> <td>0.3-</td> <td>0.5-</td> <td>></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.8</td> <td>0.5</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.5</td> <td>0.8</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>CSR_a</td> <td>-3</td> <td>-2</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	SR_a	<-	-0.8--	-0.5--	-0.3-	0.3-	0.5-	>		0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.8	0.8	CSR_a	-3	-2	-1	0	1	2	3								
		SR_a	<-	-0.8--	-0.5--	-0.3-	0.3-	0.5-	>																									
	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.8	0.8																											
CSR_a	-3	-2	-1	0	1	2	3																											
CSR_b	1. Reclasificar	<table border="1"> <tr> <td>SR_i</td> <td><-</td> <td>-0.3-</td> <td>></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>SR_i</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </table>	SR_i	<-	-0.3-	>		0.3	0.3	0.3	SR_i	-1	0	1																				
		SR_i	<-	-0.3-	>																													
		0.3	0.3	0.3																														
SR_i	-1	0	1																															
	2. Álgebra de Mapas	$SR_m = \sum_{i=1}^{12} CSR_i$																																
3. Reclasificar	<table border="1"> <tr> <td>SR_m</td> <td><-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-3-</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>></td> </tr> <tr> <td></td> <td>6</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>CSR_b</td> <td>-3</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	SR_m	<-	-	-	-3-	4	5	>		6	5	4	3			6	CSR_b	-3	-	-	0	1	2	3			2	1					
	SR_m	<-	-	-	-3-	4	5	>																										
	6	5	4	3			6																											
CSR_b	-3	-	-	0	1	2	3																											
		2	1																															
CSR_c	1. Álgebra de Mapas	$SR_t = CSR_a + CSR_b$																																
	2. Reclasificar	<table border="1"> <tr> <td>SR_t</td> <td><-</td> <td>-</td> <td>-3--</td> <td>-1-</td> <td>2-</td> <td>4</td> <td>></td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td></td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>CSR_c</td> <td>-3</td> <td>-</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	SR_t	<-	-	-3--	-1-	2-	4	>		5	4	2	1	3		5	CSR_c	-3	-	-1	0	1	2	3			2					
SR_t	<-	-	-3--	-1-	2-	4	>																											
	5	4	2	1	3		5																											
CSR_c	-3	-	-1	0	1	2	3																											
		2																																

Mapas de cambios en la presencia de procesos de dispersión y polinización¹

Como una aproximación para analizar y evaluar cambios en variables bióticas del ambiente importantes en el funcionamiento de los ecosistemas, se tuvieron en cuenta los procesos mutualistas de polinización y dispersión de semillas. Estos procesos de interacción planta-animal juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la integridad ecosistémica al condicionar otros procesos como el establecimiento de semillas, el reclutamiento de plantas y la regeneración (Fontúrbel et al. 2015).

¹ Desarrollado con la participación de: Mauricio Vejarano (CI), Camila Pacheco (PUJ), Juliana Cortés (PUJ) y Laura Eraso (PUJ).

El criterio D se analizó para cada uno de los sub-criterios (D1, D2, D3) con base en la construcción de modelos de distribución históricos y futuros (con CC), y las capas de transformación (sec 2.4.1).

La metodología utilizada para la elaboración de los mapas de presencia de los procesos de dispersión y polinización, parte de la asunción de que la co-ocurrencia o el solapamiento en la distribución de una pareja de especies planta-animal, puede ser usado como un proxy de una interacción y por ende de la ocurrencia del proceso biótico en cuestión (Morales-Castilla et al. 2015).

Partiendo de esto, se seleccionaron pares de especies planta-animal que pudieran informar sobre procesos de dispersión y polinización bien soportados por datos de literatura, y sobre los que existieran datos de distribución suficientes para producir modelos espaciales.

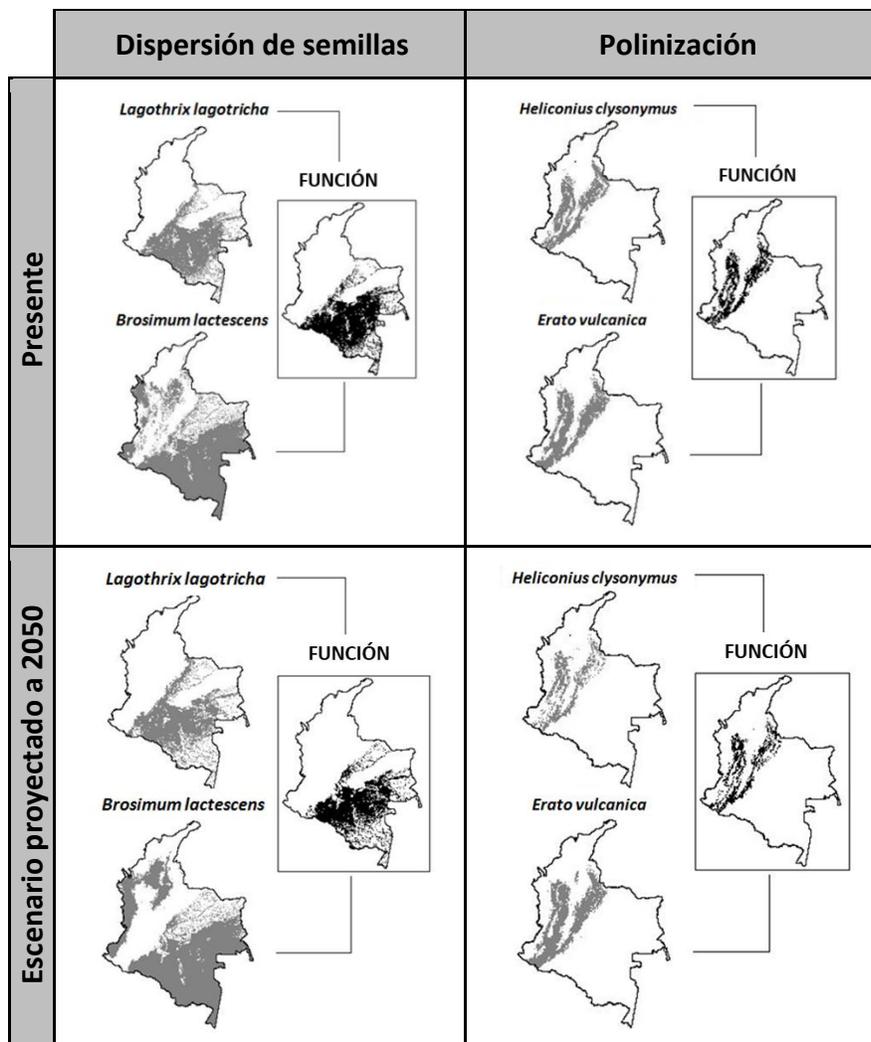
Con el propósito de representatividad, se incluyeron especies animales pertenecientes a varios grupos de vertebrados (Aves, primates y quirópteros) y un grupo de invertebrados (Insectos). Para el caso de las plantas, el proceso de selección se llevó a cabo considerando la representación de diferentes estados sucesionales de los ecosistemas: estadio pionero, intermedio y tardío.

Por otra parte, para confirmar la efectividad de las relaciones en los procesos se tuvo en cuenta: i) para la dispersión, la evidencia o el porcentaje de germinación de las semillas dispersadas (Samuels and Levey 2005); ii) para la polinización se tuvo en cuenta el volumen de la carga polínica del agente polinizador, más allá de la simple visita a la planta (King, Ballantyne and Willmer 2013).

Luego del proceso de selección se obtuvieron 67 relaciones de dispersión de semillas y 63 relaciones de polinización efectiva (Anexo 3), en donde se incluyeron 73 especies de plantas, representantes de familias como Moraceae, Arecaceae, Melastomataceae, Urticaceae, Asteraceae, Rubiaceae, entre otros, y 49 especies de animales divididas en aves (Familias Capitonidae, Cotingidae, Cracidae, Emberizidae, Parulidae, entre otras), primates (Familia Atelidae), quirópteros (Familia Phyllostomidae) e insectos (Familias Apidae, Calliphoridae y Nymphalidae).

Una vez escogidas las especies de cada relación biótica, se procedió a recolectar los registros georreferenciados de las ocurrencias de cada especie desde la base de datos nacional del SIB Colombia y de la base de datos internacional Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Para la construcción de los modelos de presencia se empleó Maxent ver. 3.3.3k, un software que usa el algoritmo de máxima entropía para construir modelos de distribución espacial (Phillips, Anderson and Schapire 2006).

Los resultados de la modelación se sometieron a una revisión por parte de expertos y se les realizó un ajuste al confrontarlos con la información bibliográfica que se pudo recopilar sobre la distribución y hábitat de cada especie en Colombia. Finalmente, se construyó un mapa por cada pareja funcional, como consecuencia de la convergencia de ambas distribuciones, tanto para presente como para el escenario 2050, y se analizaron las áreas de ganancia, pérdida y sin cambios de la relación de polinización o dispersión (Criterio D2) (Figura 6).



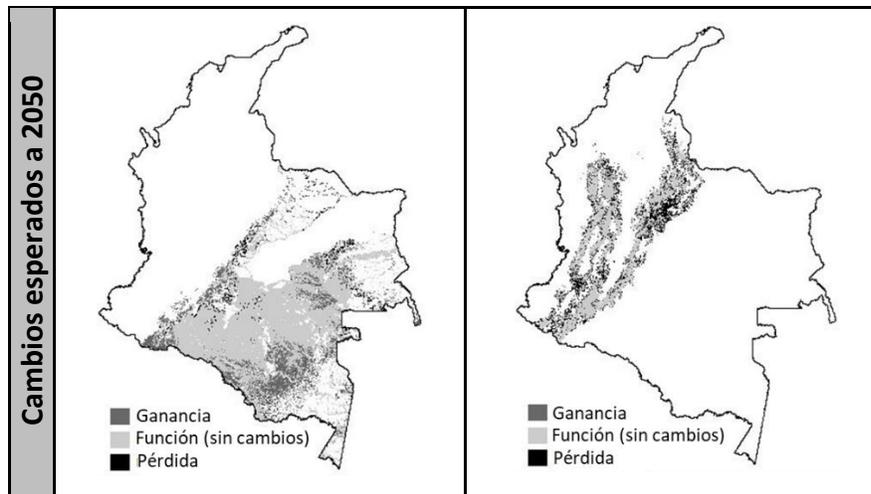


Figura 6. Ejemplo de pérdida de funciones ecológicas (2014-2050) debido a cambios en la distribución de especies funcionalmente conectadas: a) *Lagothrix lagotricha* – *Brosimum lactescens* (Dispersión); b) *Heliconius clysonymus* – *Erato vulcanica* (Polinización).

2.6 Aplicación del sistema de evaluación LRE

Para realizar la evaluación de los ecosistemas se aplicaron los diferentes criterios de la manera como se expone a continuación.

Evaluación del criterio A

Se analizaron los sub-criterios A1, A2b y A3.

Para el *criterio A1*, correspondiente a los pasados 50 años, se utilizó el intervalo de los mapas de *Transformación_1970* y *Transformación_2014* que en realidad equivale a 44 años.

Para el *criterio A2b*, correspondiente a los 50 años, entre el pasado 1990 y el futuro, se utilizaron los mapas de *Transformación_1990* y *Transformación_2040* (escenario BAU).

Para el *criterio A3*, correspondiente a la transformación histórica, se utilizó el mapa de ecosistemas originales sin transformación y el mapa de *Transformación_2014*.

Evaluación del criterio B

En la evaluación del criterio B se evaluaron los sub-criterios B1, para el cual se construyeron los polígonos envolventes mínimos de todas las ocurrencias, y el sub-criterio B2, para el cual se calculó la extensión de ocurrencia (número de celdas de 10x10 km que ocupan todas las ocurrencias). Para ambos sub-criterios se tomó en cuenta una medida de la interrupción de los

procesos/interacciones bióticas informada por el índice de la Huella Humana Espacial (Etter et al. 2011a).

Evaluación del criterio C

Para este criterio, sólo se analizó el sub criterio C2 que evalúa los cambios de disponibilidad de agua lluvia durante los próximos 50 años según las tendencias esperadas de cambio climático.

Para calcular el área de cada una de las categorías de severidad en los ecosistemas se utilizó, para cada una de las 6 clases (Tabla 5), la herramienta *Área tabulada* del paquete *Análisis espacial* presente en ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014). La clasificación de ecosistemas utilizada fue la presentada en el reporte *Estado de los Ecosistemas Colombianos 2014* (Etter et al. 2015). Posteriormente se calcularon los porcentajes de área ocupada por cada categoría de severidad en cada uno de los ecosistemas.

Finalmente se definió el nivel de riesgo de los ecosistemas por cambios en la disponibilidad hídrica teniendo en cuenta el criterio C2 de la IUCN para la lista roja de ecosistemas (Keith et al., 2013). La categoría de riesgo se asignó a partir de la clase de severidad con mayor área dentro del ecosistema y las clases de extensión propuestos por la IUCN (Keith et al., 2013).

La Tabla 6 muestra el procedimiento utilizado para definir la categoría de riesgo según cada clase de severidad. Así pues, la categoría de riesgo de cada ecosistema es la más alta de todas las clases de severidad evaluadas.

Tabla 6. Categorías de riesgo de colapso de ecosistemas para Criterio C2.

Severidad / Extensión (%)	1	2	3
≥ 80	CR	EN	VU
≥ 50	EN	VU	LC
≥ 30	VU	LC	LC

(Modificado de Keith et al. 2013)

Evaluación del criterio D

Para el *criterio D1*, que evalúa el cambio en procesos bióticos correspondiente a los pasados 50 años, se utilizaron los mapas de Transformación_1970 y Transformación_2014, que realmente corresponden a un período de 44 años. Con estos mapas se calculó la pérdida

en área (extensión) de cada ecosistema entre 1970 y 2014, mientras que la severidad fue calculada con base en la pérdida en área de los procesos bióticos ente 1970 y 2014 para cada ecosistema.

Para el *criterio D2*, que evalúa el cambio en procesos bióticos correspondiente a un periodo de 50 años entre el presente y el futuro, se utilizó el mapa de ecosistemas actuales, y los resultados de la modelación de las relaciones bióticas en presente y en el escenario de cambio climático proyectado a 2050.

Para evaluar la severidad relativa, los rangos porcentuales definidos por el protocolo de la LRE fueron modificados, pues de acuerdo a Neuschulz et al. (2016) tanto la dispersión de semillas como la polinización son procesos esenciales para la regeneración de los ecosistemas y por ende el impacto por cambios en este tipo de interacciones tiene efectos de magnitudes mayores en los ecosistemas. Los rangos de severidad relativa se establecieron de la siguiente forma: una pérdida en número de procesos bióticos de más del 50% entre presente y futuro entró en la categoría Crítico (>80); una pérdida de entre el 30 y 50% se le asignó la categoría En Peligro (>50%); una pérdida entre el 15 y 30% se le asignó la categoría Vulnerable (>30%) (Tabla 7).

Debido a que la información espacial se manejó en formato raster, los ecosistemas presentaron celdas con diferentes valores de pérdida y quedaron por tanto clasificados en clases de severidad diferentes. La asignación final de la severidad para cada ecosistema se realizó dando prioridad a aquella categoría que ocupara el mayor porcentaje de área dentro del ecosistema.

Para asignar la clase de extensión, se tuvo en cuenta el área que ocupaba la clase de severidad asignada anteriormente. Si ésta representaba más del 80% de la superficie total del ecosistema, se le asignó la categoría de extensión “Crítico”, si representaba más del 50% se le asignó la categoría de extensión “En Peligro”, si representaba más del 30% se le asignó la categoría de extensión “Vulnerable” (Tabla 7).

Tabla 7. Categorías de riesgo de colapso de ecosistemas para Criterio D2.

Severidad (%) / Extensión (%)	≥ 80 (> 50% procesos perdidos)	≥ 50 (30-50% procesos perdidos)	≥ 30 (15-30% procesos perdidos)
≥ 80	CR	EN	VU
≥ 50	IN	VU	LC
≥ 30	VU	LC	LC

Para el *criterio D3*, que evalúa el cambio histórico en procesos, se utilizó el mapa de ecosistemas originales sin transformación y el mapa de Transformación_2014. El procedimiento fue el mismo que para el sub-criterio D1. La extensión fue evaluada respecto a la pérdida en área de cada ecosistema entre su estado original y su transformación a 2014, mientras que la severidad fue calculada con base en la pérdida en área de procesos bióticos a 2014 para cada ecosistema.

3. RESULTADOS

3.1 Los ecosistemas potenciales: Clasificación y cartografía

Aspectos generales de la diversidad de ecosistemas

La caracterización ecológica que presentamos del país, identifica un total de 81 tipos de unidades ecológicas o ecosistemas organizados jerárquicamente (Figura 7, Anexo 4). De estos, 54 corresponden a ecosistemas forestales, 6 a ecosistemas arbustivos, 16 a ecosistemas con dominio de estrato herbáceo como las sabanas y páramos, y 5 a ecosistemas de pantanos con vegetación herbácea y aguas abiertas (Tabla 8).

Tabla 8. Tipos fisionómicos generales y su extensión original en el país.

Tipo	Extensión (Ha)	%
Bosques	94,146,930	82.5
Arbustales	1,543,390	2.2
Sabanas	14,128,937	12.6
Páramos	2,291,240	2.7

El Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales (ZBHT) agrupa la mayor cantidad de ecosistemas con un total de 69 ecosistemas y ocupan 100.5 millones de hectáreas equivalentes al 87.7 % del país. De estos, 45.9 millones de hectáreas (46%) corresponden a bosques zonales, 26.5 millones de hectáreas a los Orobiomas (bosques de montaña, arbustales y páramos), 14.1 millones de hectáreas corresponden a los Helobiomas (bosques aluviales y de pantano), y 19.9 millones de hectáreas a los Pedobiomas (sabanas y arbustales edáficos).

Descripción general de los Biomas

A. Zonobioma de los bosques húmedos tropicales (ZBHT)

Incluye todos los biomas de altitudes menores a 500 m, que presentan un excedente de precipitación y algún grado de estacionalidad de 1 a 3 meses, el cual no genera déficits hídricos marcados. La precipitación media anual es mayor a 1800-2000 mm, aunque en algunos casos puede llegar a más de 8 000 mm como ocurre en el Pacífico o en algunas áreas de los piedemontes de los Andes.

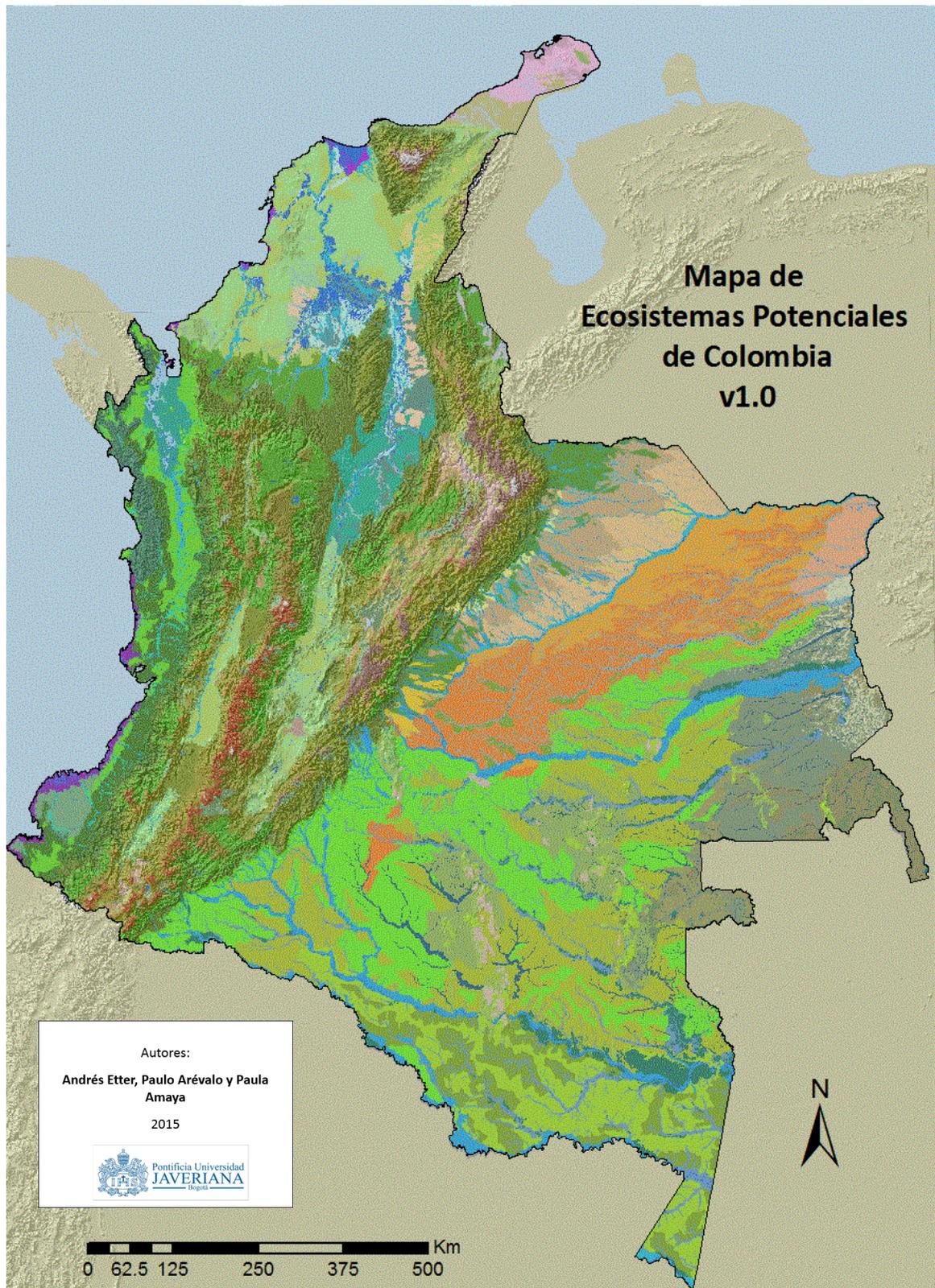


Figura 7. Mapa General de los ecosistemas potenciales colombianos.

Fisionómicamente la vegetación corresponde a bosques densos con alturas medias a altas (20 a 35m). Generalmente de tipo multi-estrata, con una diversidad alta y bajos niveles de dominancia. Son bosques donde predomina la condición de mesofilia en las hojas.

Generalmente los suelos no presentan limitaciones fuertes para el desarrollo de vegetación de tipo arbóreo multiestrata, ya sea por déficit marcado de nutrientes (desviaciones hacia pedo- o peinobiomas, *sensu* Walter 1979), o excesos de agua en el suelo (desviaciones hacia helo- o hidrobiomas). Sin embargo, los suelos tienden a ser desde ligeramente a fuertemente ácidos debido al efecto de lavado de una precipitación muy constante.

B. Zonobioma de los bosques secos tropicales (ZBST)

Incluye los biomas de altitudes menores a 500 m, que presentan un déficit parcial de precipitación entre 3 y 5 meses al año. Precipitación media anual menor a 1500 mm.

C. Zonobioma de desierto subtropical (ZDT)

Incluye todos los biomas de altitudes menores a 500 m, que presentan un déficit alto de precipitación entre 6 y 12 meses al año. Precipitación media anual menor a 500 mm, representando condiciones áridas.

D. Orobiomas

Es el conjunto de biomas determinados por las desviaciones de la norma zonal como resultados del factor orográfico. Corresponden a los ecosistemas ubicados a altitudes superiores a los 500 m, y hasta los 5 400 m. En su mayoría corresponden a condiciones del ZBHT donde predomina un balance hídrico positivo pero afectado por la reducción en la temperatura media y los máximos y mínimos, que en casos de las altas montañas puede incluir el fenómeno de heladas (ecosistemas del Páramo).

i. Orobiomas Andinos

Los orobiomas de los Andes se caracterizan por una amplia diversidad y heterogeneidad resultante de las variantes de la amplitud altitudinal, y la variedad de relieves ocasionados por la diversidad de sustratos geológicos (ígneos, sedimentarios y metamórficos; presencia de cenizas volcánicas y sustratos de origen glaciar).

En algunos casos las características orográficas de grandes valles y planicies, generan ecosistemas variantes con climas locales secos, o suelos intra-zonales hidromórficos.

ii. Orobiomas Amazónicos

Los orobiomas de la Amazonía se caracterizan por la presencia de relieves residuales con expresión orográfica y edafológica suficiente para determinar cambios en la expresión de los ecosistemas zonales del ZBHT. Están principalmente relacionados con la presencia del Escudo de Guayanés en el nor-orienté y centro de la región.

E. Pedobiomas:

Se refiere al conjunto de biomas cuyas características de cobertura vegetal y productividad se desvían de la norma zonal como resultado de las condiciones limitantes del factor edáfico. Corresponden en su mayoría a ecosistemas ubicados en altitudes menores a los 500 m, aunque ocasionalmente pueden superar estas alturas, como en la región Andina, pero sigue siendo el factor edáfico el limitante principal.

Característicamente las transiciones entre ecosistemas zonales del ZBHT y los pedobiomas son de carácter abrupto. Entre los conjuntos de pedobiomas mismos, las transiciones pueden ser graduales pero generalmente se dan a distancias más cortas como resultados de contrastes en las toposecuencias.

i. Pedobiomas forestales, arbustivos o herbáceos

Corresponden a situaciones donde las condiciones del suelo y/o drenaje son los suficientemente dominantes para determinar una desviación de la condición zonal de los bosques mesófilos hacia condiciones de esclerofilia debido a limitaciones en la disponibilidad de los nutrientes, ya sea por oligotrofia resultante de la roca madre o de las condiciones de lavado extremo de los suelos, como ocurre en las regiones con afloramientos graníticos del Guainía y Vaupés (Oxisoles o Espodosoles tropicales según la clasificación de USDA (1999)).

Dependiendo del nivel de oligotrofia estos tipos de ecosistemas pueden expresarse como bosques bajos, arbustales o incluso herbazales.

Cuando se combinan las condiciones de oligotrofia, como las anteriormente descritas, con un incremento de la estacionalidad en la disponibilidad de agua, los ecosistemas se manifiestan como sabanas de gramíneas con diferentes niveles de acompañamiento de componentes arbóreos, en las que el fuego y la herbivoría constituyen procesos importantes de su dinámica, como es el caso en los Llanos Orientales y el norte de la Amazonía colombiana (Meta y Guaviare).

F. Helobiomas:

Son los ecosistemas que se desvían de la norma zonal debido a excesos de agua en por lo menos algún período representativo. Las características y dinámicas de estos ecosistemas están determinadas primariamente por la actividad de pulsos de inundación de agua dulce,

como ocurre en las llanuras aluviales con cambios importantes en los niveles de agua, o por la presencia permanente de un espejo de agua. Presentan contrastes importantes con los ecosistemas zonales con los que colindan. Sus características y contrastes pueden variar mucho dependiendo de las características de precipitación del Zonobioma (ZBHT, ZBST, ZDT) en el que estén inmersos.

Halobiomas:

Ecosistemas determinados primariamente por la actividad de pulsos de inundación de agua salada o salobre, como ocurre en las planicies costeras. Varían dependiendo del nivel de acumulación de sales dependiendo de las características de precipitación del Zonobioma.

Hidrobiomas:

Ecosistemas acuáticos con un espejo de agua permanente, estático o corriente.

Descripción de los ecosistemas

La descripción de los ecosistemas incluye 10 campos:

- Código
- Bioma
- Fisionomía
- Paisaje
- Biotá Nativa Característica
- Ambiente Físico (Sustrato, Altitud, Pendiente, Temperatura media, Precipitación media anual)
- Región / Departamento
- Área Ecosistema Original
- Proporción remanente (2014)
- Referencias bibliográficas

Esta información está consignada en la leyenda amplia del mapa (Anexo 5).

3.2 Procesos de transformación de los ecosistemas

Evolución multi-temporal del proceso de transformación y reemplazo.

La figura 8 muestra las tendencias de transformación en la serie de tiempo histórica y la proyección a futuro. Las secuencias multi-temporales de transformación están plasmadas en términos de unidades de “transformado” y “no transformado” en los mapas de la figura 9. Los

Orobiomas Andinos y los Biomas del Zonobioma de BST son los que presentan los mayores niveles de transformación y de ecosistemas en estado crítico.

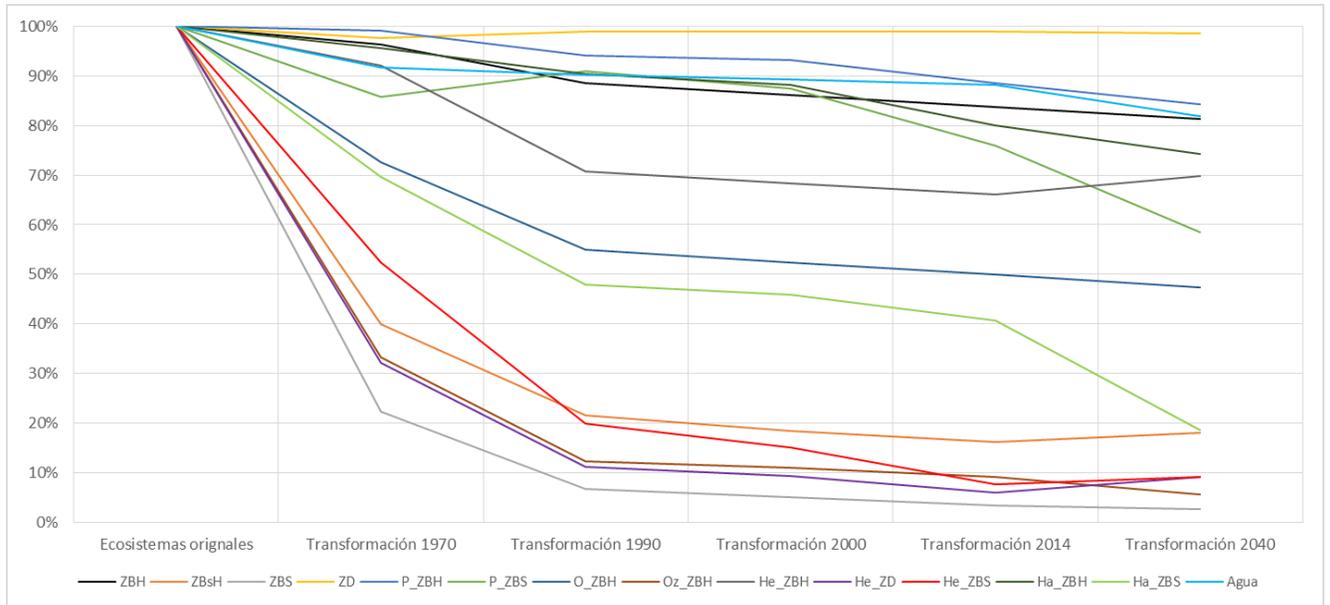


Figura 8. Tendencia de transformación de los biomas en el periodo 1970 -2014 y la proyección BAU a 2040 (ver anexo 5 para códigos de biomas).

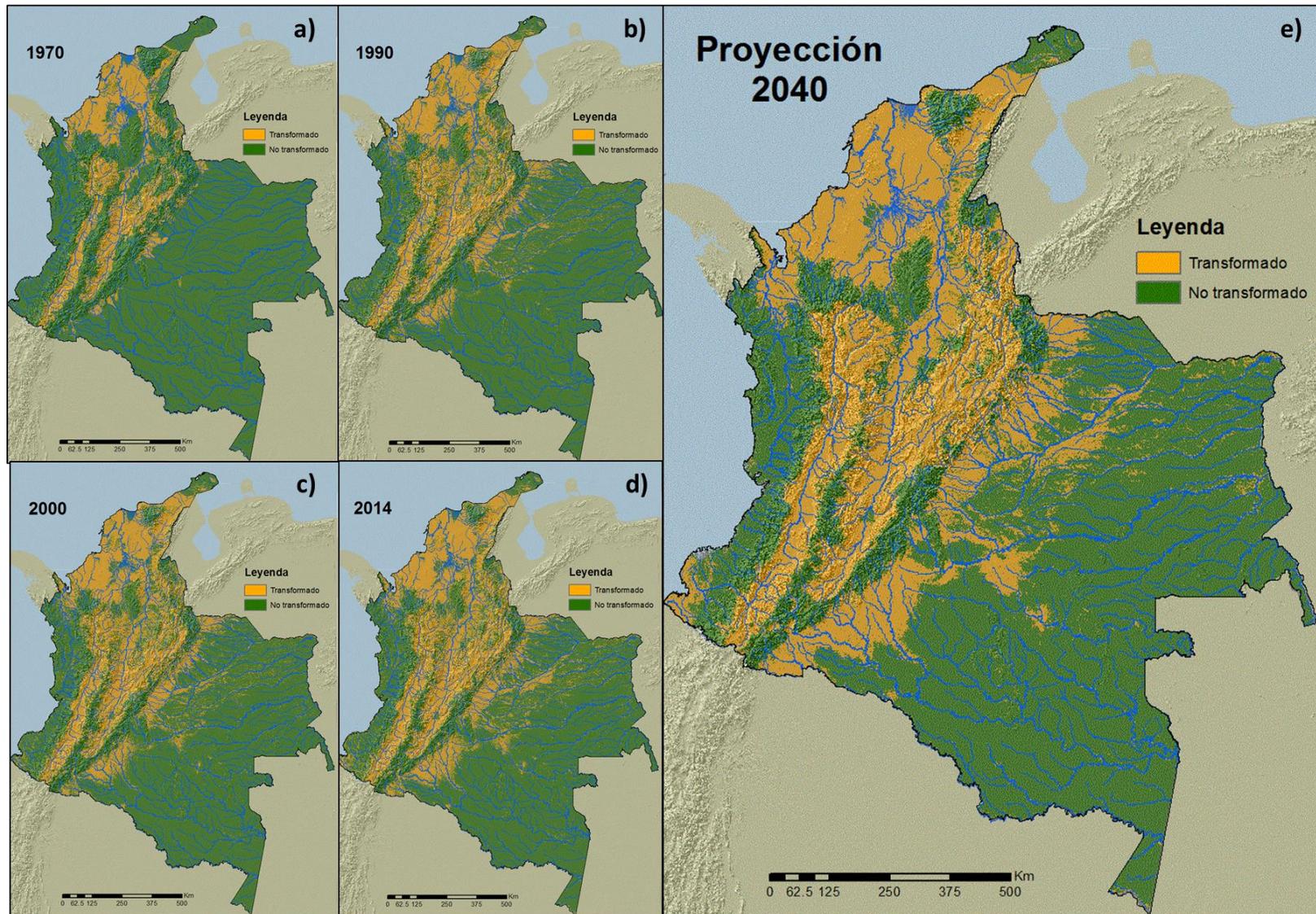


Figura 8. Mapa de transformación de los ecosistemas. a) 1970; b) 1990; c) 2000; d) 2014; y e) Proyección BAU 2014.

3.3 Pronósticos de degradación futura de componentes y procesos físicos y bióticos²

La degradación ambiental: cambios en la disponibilidad de agua lluvia durante los próximos 50 años (Criterio C2)

El efecto de los cambios de precipitación que arrojó el análisis del escenario futuro de disponibilidad de agua precipitada muestra dos aspectos importantes: i) se presentan tanto incrementos como disminuciones importantes; ii) las diferencias de los escenarios futuros con respecto al histórico no son muy grandes.

De acuerdo con el análisis de variación futura en la disponibilidad de agua de precipitación, se observa que el comportamiento de los índices de severidad relativa y la variabilidad presentan patrones espaciales y valores bastante coincidentes a nivel anual (Figura 10a y 10d). Sin embargo, cuando se analizan los valores de los comportamientos mensuales de meses consecutivos, se observan patrones espaciales muy diferentes, siendo los del índice de severidad relativa mucho mayores y espacialmente más extendidos que los de variabilidad (Figura 10b y 10e). Lo anterior también sucede al observar la evaluación agregada de los índices anuales y de los mensuales (Figura 10c y 10f).

En términos generales, se observa que en los ecosistemas secos y marcadamente estacionales del Caribe y parte de la Orinoquia los patrones son de aumento, mientras que la disminución tiende a ocurrir en algunas áreas más húmedas de los Andes y la Amazonia. Sin embargo, espacialmente hablando, se ve que las regiones menos afectadas son las de Orinoquía y Amazonia, mientras que el Caribe, específicamente la península de la Guajira, se muestra como la más afectada.

Al aplicar el índice de severidad con su extensión de ocurrencia en los ecosistemas, se observa que 7 ecosistemas quedan incluidos en alguna categoría de riesgo crítico (CR) o en peligro (EN). De estos 7 ecosistemas solo uno se ve amenazado por disminución en la disponibilidad hídrica (B2d – Bosques Altos densos del Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical), mientras que los seis restantes se ven amenazados por aumento en la misma.

² Los datos biológicos para analizar los procesos de dispersión en Chiroptera fueron aportados por la profesora Yaneth Muñoz y su equipo de trabajo en el Grupo de Investigación sobre Evolución y Ecología de los Mamíferos Neotropicales - EEMN, del Instituto de Ciencias Naturales de Universidad Nacional.

Adicionalmente, se observa que para todos ellos el criterio de mayor riesgo es el de severidad relativa mensual (CSR_b) con excepción del ecosistema A3 (Arbustales bajos muy abiertos y áreas desérticas del Zonobioma del Desierto Tropical) en donde también intervienen el criterio de severidad relativa anual (CSR_a) y el total (CSR_c).

El área con los mayores cambios esperados es la península de la Guajira en donde casi la totalidad de los ecosistemas se encuentran en peligro crítico (CR) o en peligro (EN). Adicionalmente se encuentran en peligro (EN) algunos ecosistemas ubicados en la parte norte del departamento de Norte de Santander y una gran franja heterogénea que atraviesa verticalmente la región central de los departamentos de Arauca y Casanare. En categoría VU se calificaron algunos ecosistemas costeros de baja representación que se ubican en la costa atlántica y cuya mayor concentración se da en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

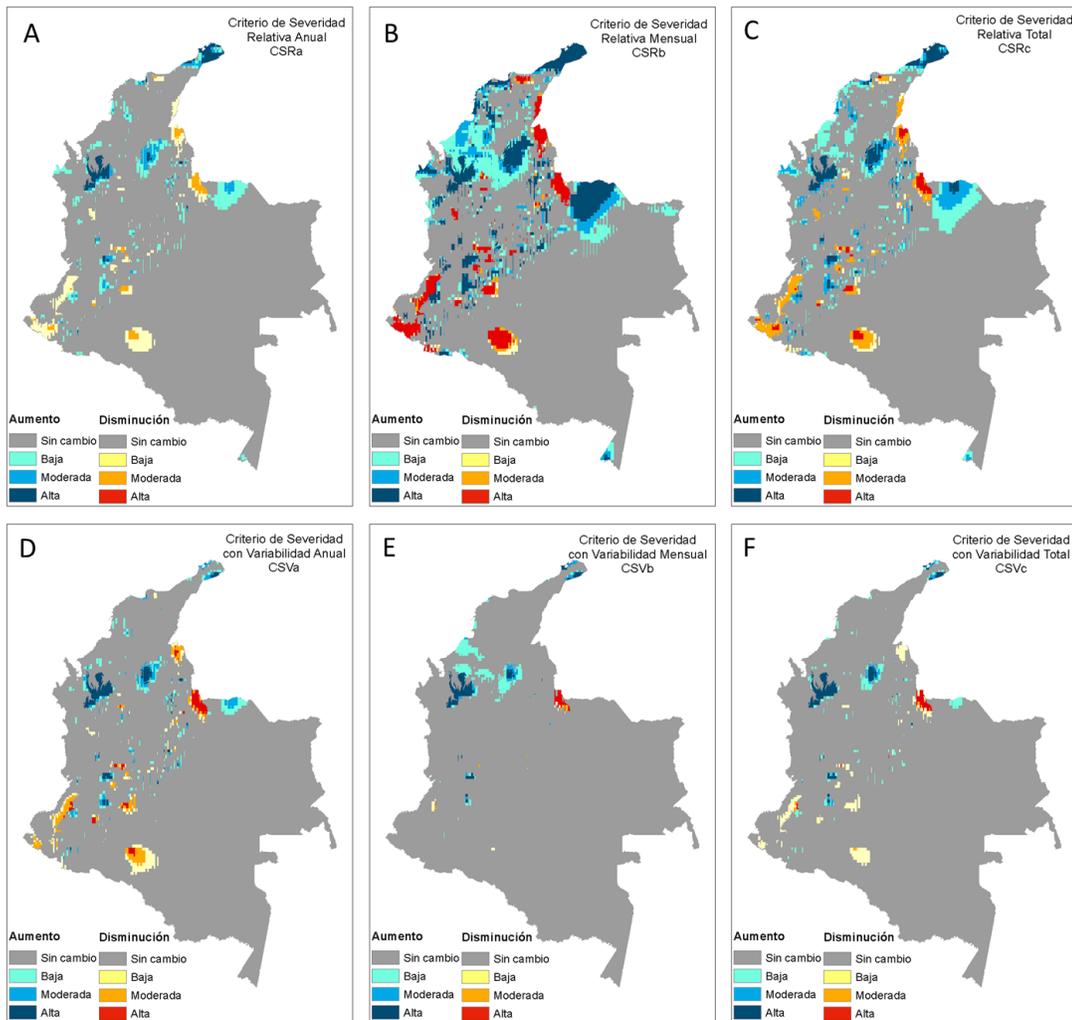


Figura 10. Criterios de severidad de los cambios de precipitación en los próximos 50 años (Criterio C2).

La pérdida y degradación histórica (D1, D3) y futura (D2) de procesos bióticos

Los cambios observados para los procesos de dispersión de semillas y de polinización analizados (principalmente de ecosistemas boscosos), muestran diferentes patrones espaciales. La pérdida de estas funciones de interacción responde a cambios o desplazamientos en los rangos de distribución de las especies de animales y plantas a causa del cambio climático, y por consiguiente cambios en el área potencial de la relación de dispersión de semillas o polinización.

Para los cambios futuros las áreas con altas tasas de pérdida/degradación se ubican en los Andes, y el norte de la Amazonia y sur de la Orinoquia (Figura 11, Tabla 9)). De acuerdo con este análisis para 2050 habrá un área aproximada de 27 millones de hectáreas con severidad muy alta y alta, y unos 39 millones de hectáreas con severidad moderada a baja.

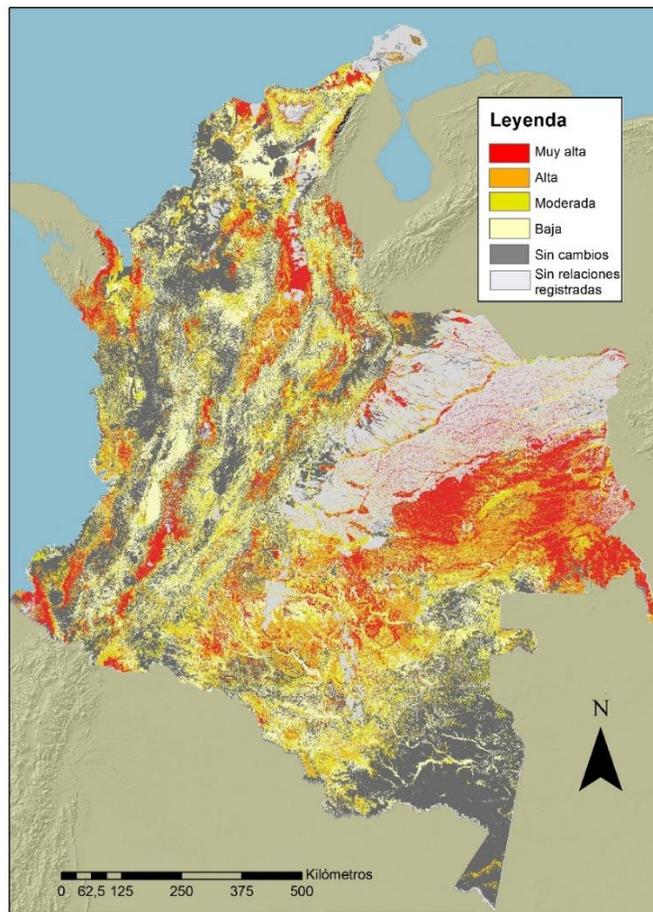


Figura 11. Severidad de la pérdida de función ecológica de dispersión y polinización en los próximos 50 años con base en 130 pares funcionales planta-animal.

Tabla 9. Nivel de severidad de pérdida de procesos bióticos en las diferentes regiones de Colombia y su porcentaje respecto a la pérdida total.

	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Andina	53%	25%	13%	9%
Caribe	44%	20%	18%	18%
Orinoquía	16%	21%	28%	36%
Pacífico	22%	28%	27%	23%
Amazonas	26%	24%	24%	25%

Sobre los efectos de la transformación histórica de los ecosistemas y su impacto en los procesos de dispersión de semillas y polinización seleccionados (D1 y D3), los análisis arrojan efectos importantes para los ecosistemas de las regiones Andina y Caribe (Figura 12 y 13). En términos generales, los procesos de transformación que han ocurrido en los últimos 50 años en Colombia, representados por cambios en el uso y la cobertura de la tierra, han significado una reducción del 35% del área de ocurrencia de procesos e interacciones bióticas (Tabla 10).

Puesto que el proceso de transformación humana ha sido preponderante en las regiones Andina y Caribe, y el análisis privilegió los ecosistemas boscosos, el nivel de riesgo de los ecosistemas por este concepto es mayor para aquellos ecosistemas boscosos que son dominantes en esta zona (Tabla 10).

De acuerdo al modelo de degradación de procesos bióticos construido con base en los escenarios históricos de transformación, aparecen áreas donde se ha perdido hasta el 100% de los procesos que originalmente existían.

Para el caso de la dispersión de semillas, al año 1970 se había perdido en términos ponderados por área/# relaciones, aproximadamente un 22% del área de interacción efectiva planta-animal, y para el 2014 ya se observa una pérdida del 41% (Tabla 10). El avance progresivo de la degradación de este proceso biótico se muestra en la serie temporal de las Figuras 12, donde se observa una disminución considerable en la región del Caribe, Andes y Orinoquía, teniendo como referencia la representación de los ecosistemas originales.

Las tendencias de cambio que arrojan los escenarios de transformación en relación a los procesos de polinización, indican una reducción del 13% en el área de interacciones para el año 1970 y una disminución total del 28% en el escenario de 2014 (Tabla 10). La Figura 13 muestra una mayor degradación en las zonas donde se presenta un menor número de relaciones, eso significa la región Caribe, Andes y Orinoquía. Este fenómeno se debe a que la mayoría de relaciones de polinización que fueron identificadas correspondían espacialmente a la región de Amazonia.

Tabla 10. Cambios en los últimos 50 años en las áreas de ocurrencia de los procesos bióticos analizados.

Proceso biótico	Área de relaciones en ecosistemas originales (Ha)	Área perdida a 1970 (%)	Área perdida a 1990 (%)	Área perdida a 2000 (%)	Área perdida a 2014 (%)
Dispersión de semillas	1.281.318.781	21.9	35.4	38.2	40.8
Polinización	1.291.267.231	12.8	23.4	26.1	28.4
Total	2.572.586.012	17.3	29.4	32.1	34.6

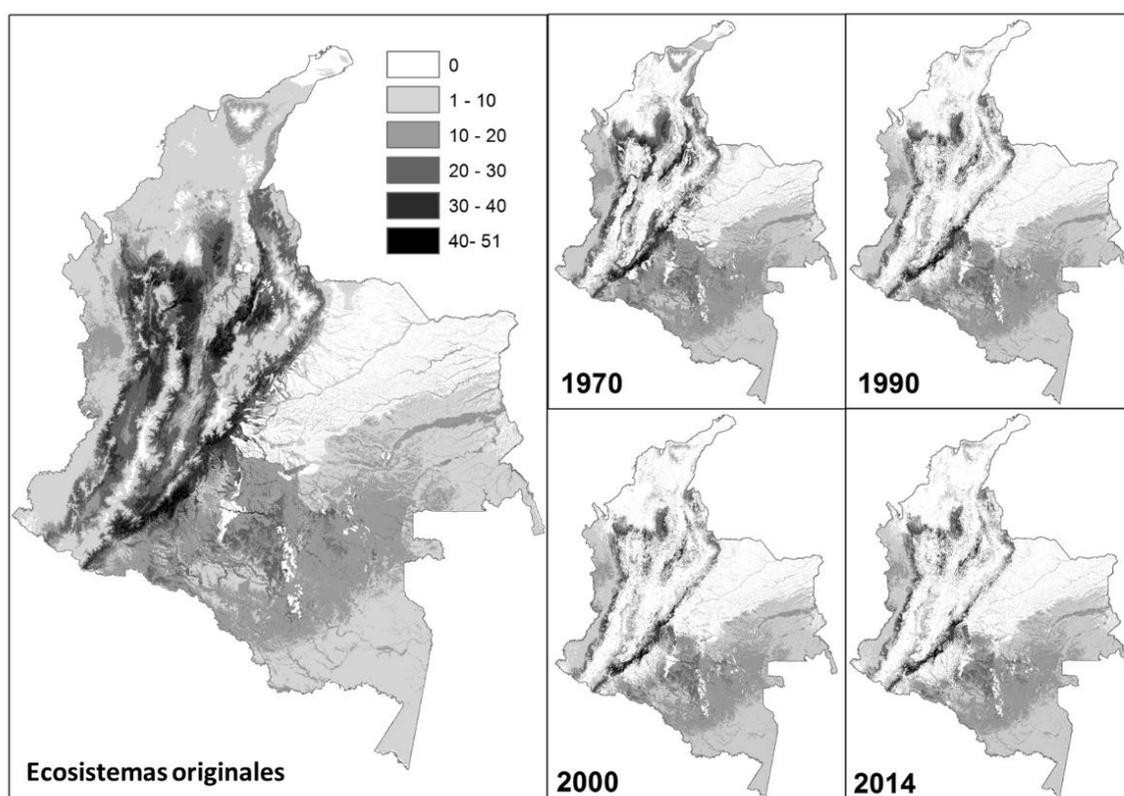


Figura 12. Tendencias de cambio en el proceso de dispersión de semillas durante los últimos 50 años.

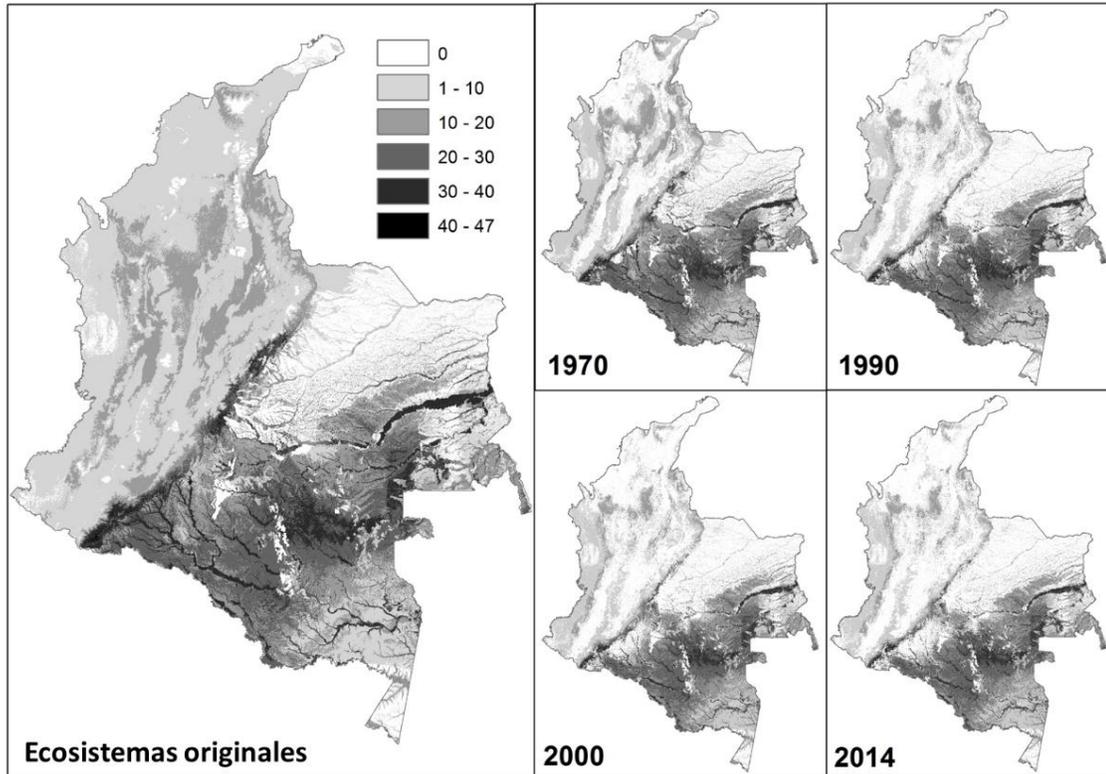


Figura 13. Tendencias de cambio en el proceso de polinización durante los últimos 50 años.

3.4 Evaluación LRE

La evaluación general de riesgo de los ecosistemas del país en esta segunda versión, indica que casi la mitad (36) de los tipos de ecosistemas están en los niveles altos de riesgo (CR y EN): 22 ecosistemas del país, equivalentes al 27%, están categorizados como estado crítico (CR), y 14 ecosistemas (17%) en estado en peligro (EN) (Tabla 11). Esto quiere decir que cerca de la mitad de los ecosistemas del país presentan condiciones que ponen en riesgo su permanencia y su provisión de servicios a la sociedad (Figura 27).

En estado vulnerable (VU) aparecen 12 ecosistemas (15%), mientras que 33 ecosistemas (41%) están catalogados como sin preocupación (LC).

El criterio que definió de manera dominante la categorización CR de los ecosistemas fue el criterio A que está determinado en particular por los criterios A1, A2b, y A3. En dos casos el criterio C2 también determinó el estado CR. Por su parte el Criterio D, especialmente D1 y D3, también aportó a esta categorización para por lo menos 14 ecosistemas.

Tabla 11. Evaluación final del riesgo de colapso de los Ecosistemas Colombianos.

CODIGO ECOSISTEMA	A1	A2b	A3	B1ai	B1aii	B1aiii	B2ai	B2aii	B2aiii	C2	D1	D2	D3	EvFinal
ZBH-B1a	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B1b	CR	LC	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	VU	CR
ZBH-B1c	CR	EN	CR	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	CR	VU	CR	CR
ZBH-B1d	EN	LC	EN	LC	LC	EN	LC	LC	VU	LC	VU	EN	VU	EN
ZBH-B2a1	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B2a2	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B2b	EN	LC	EN	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	EN
ZBH-B2c	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B2d	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN	LC	EN	LC	EN
ZBH-B3a1	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B3a2	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B3b	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B4a	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B4b	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR
ZBH-B4c	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN	LC	EN
ZBH-B4d	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B5	EN	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	EN	LC	EN
ZBH-B6	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZBH-B7	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
ZBsH-B8	EN	VU	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	VU	CR
ZBsH-B9	EN	LC	CR	LC	LC	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	CR
ZBS-B10	CR	EN	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
ZBS-B11	CR	CR	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
ZBS-B12	EN	VU	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	CR	CR
ZBS-B13	CR	LC	CR	LC	LC	EN	LC	LC	LC	EN	CR	LC	CR	CR
ZD-A1	LC	LC	LC	LC	LC	EN	LC	LC	LC	CR	LC	LC	LC	CR
ZD-A2	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
ZD-A3	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	LC	LC	CR
P_ZBH-B14	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
P_ZBH-B15	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	VU
P_ZBH-S1	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-A4	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-S2	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-S3	EN	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN
P_ZBH-S4	EN	LC	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR
P_ZBH-S5	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-S6	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-S7	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
P_ZBH-S8	LC	LC	LC	LC	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN
P_ZBH-S9	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN	LC	LC	LC	EN
P_ZBH-S10	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU

(Cont.)

CODIGO ECOSISTEMA	A1	A2b	A3	B1ai	B1aii	B1aiii	B2ai	B2aii	B2aiii	C2	D1	D2	D3	EvFinal
P_ZBS-S11	LC	VU	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
P_ZBS-S12	LC	VU	LC	LC	LC	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN
O_ZBH-B16	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B17	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B18	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B19a	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B19b	VU	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
O_ZBH-B20a	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
O_ZBH-B20b	VU	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
O_ZBH-B21a	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B21b	VU	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
O_ZBH-B21c	EN	VU	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	VU	CR
O_ZBH-B21d	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-B22	CR	LC	CR	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
O_ZBH-S13	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-S14	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-S15	LC	VU	LC	LC	LC	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN
O_ZBH-N	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	LC	VU
Oz_ZBH-B23	EN	EN	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
Oz_ZBH-A5	EN	CR	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	CR	CR
Oz_ZBH-A6	CR	EN	CR	LC	LC	EN	LC	LC	VU	LC	CR	LC	CR	CR
Oz_ZBH-S16	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
O_ZBH-P1	CR	LC	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
He_ZBH-B24	EN	LC	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	VU	EN
He_ZBH-B25	VU	EN	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN
He_ZBH-B26	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
He_ZBH-B27	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
He_ZBH-B28	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
He_ZBH-B29	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU
He_ZBH-B30	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
He_ZBH-B31	VU	LC	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	VU	LC	VU
He_ZBH-B32	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
He_ZBH-P2	EN	EN	EN	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	VU	EN
He_ZD-B33	CR	LC	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	EN	CR	LC	CR	CR
He_ZBS-B34	CR	LC	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	LC	CR	CR
He_ZBS-P3	CR	EN	CR	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	CR	VU	CR	CR
He_ZBS-P4	CR	EN	CR	LC	LC	EN	LC	LC	VU	LC	CR	LC	CR	CR
Ha_ZBH-B35	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC
Ha_ZBS-B36	VU	EN	VU	LC	LC	LC	LC	LC	LC	VU	LC	LC	LC	EN
Agua	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC

Evaluación del Criterio A

El criterio A (reducción en la extensión -y distribución- geográfica), se analizó a través de los sub-criterios A1 (Figura 14), A2b (Figura 15) y A3 (Figura 16).

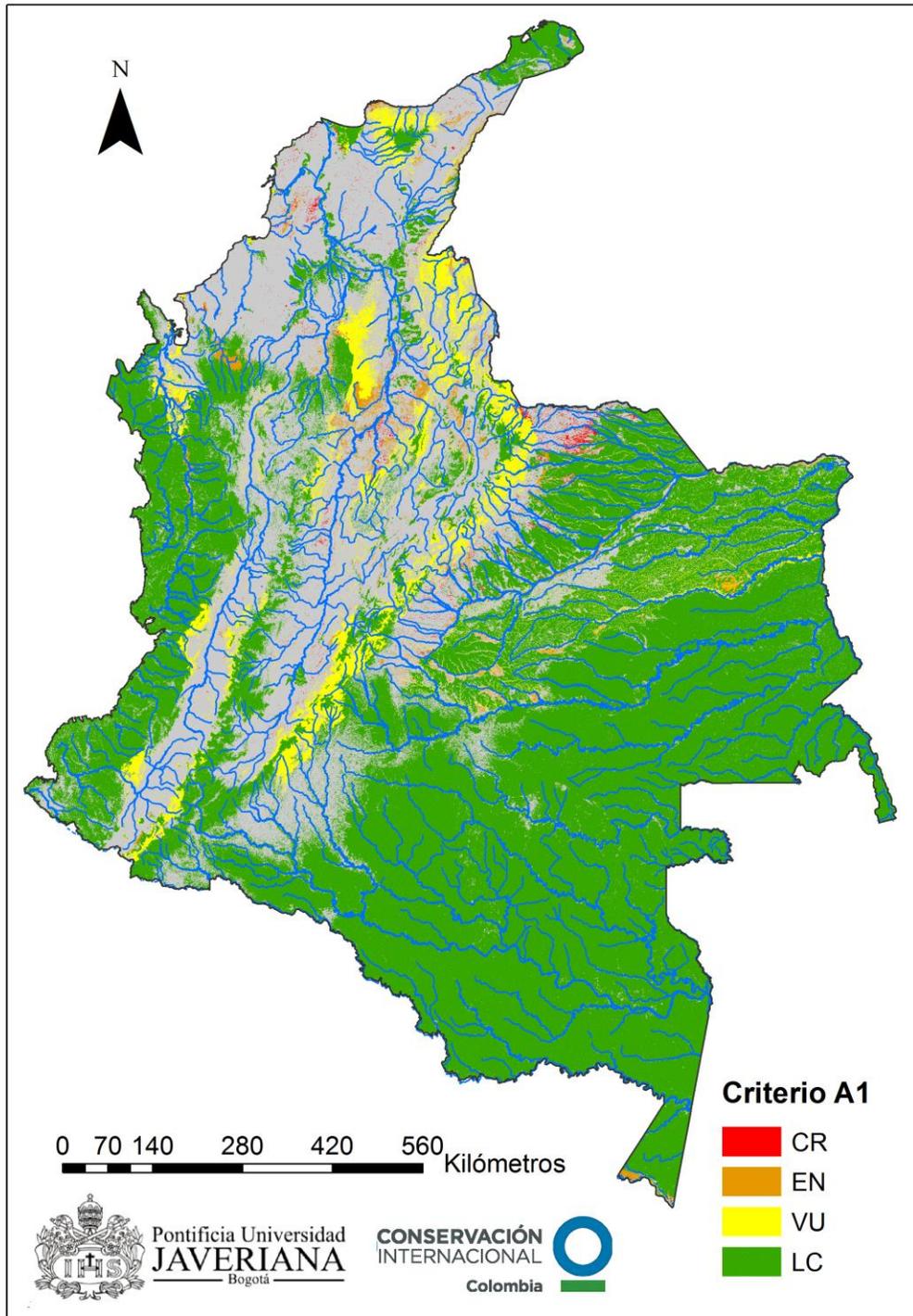


Figura 14. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **A1**: Presente (durante los pasados 50 años).

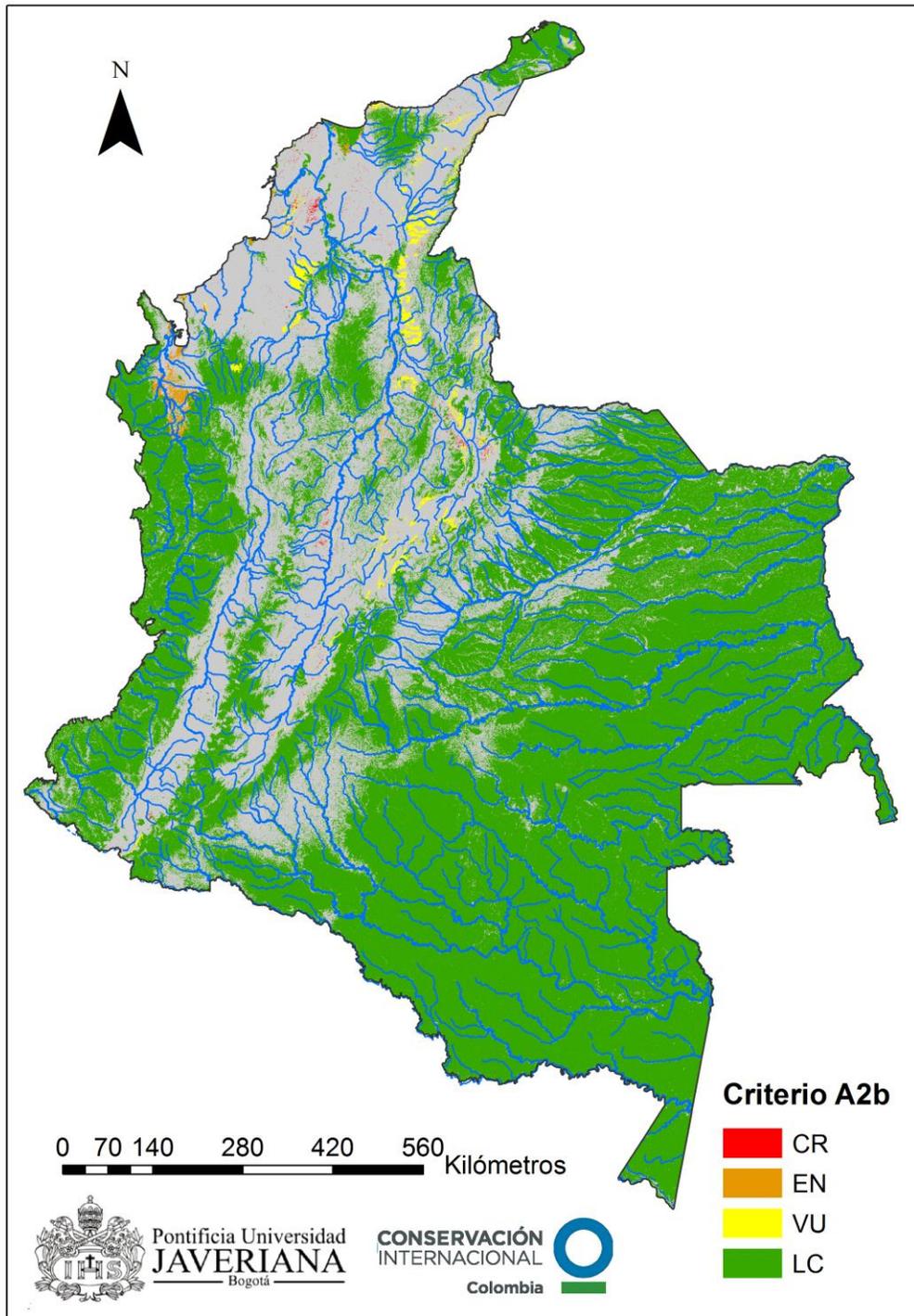


Figura 15. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **A2b**: Futuro (en un período de 50 años incluyendo el presente y el futuro – 1990-2040).

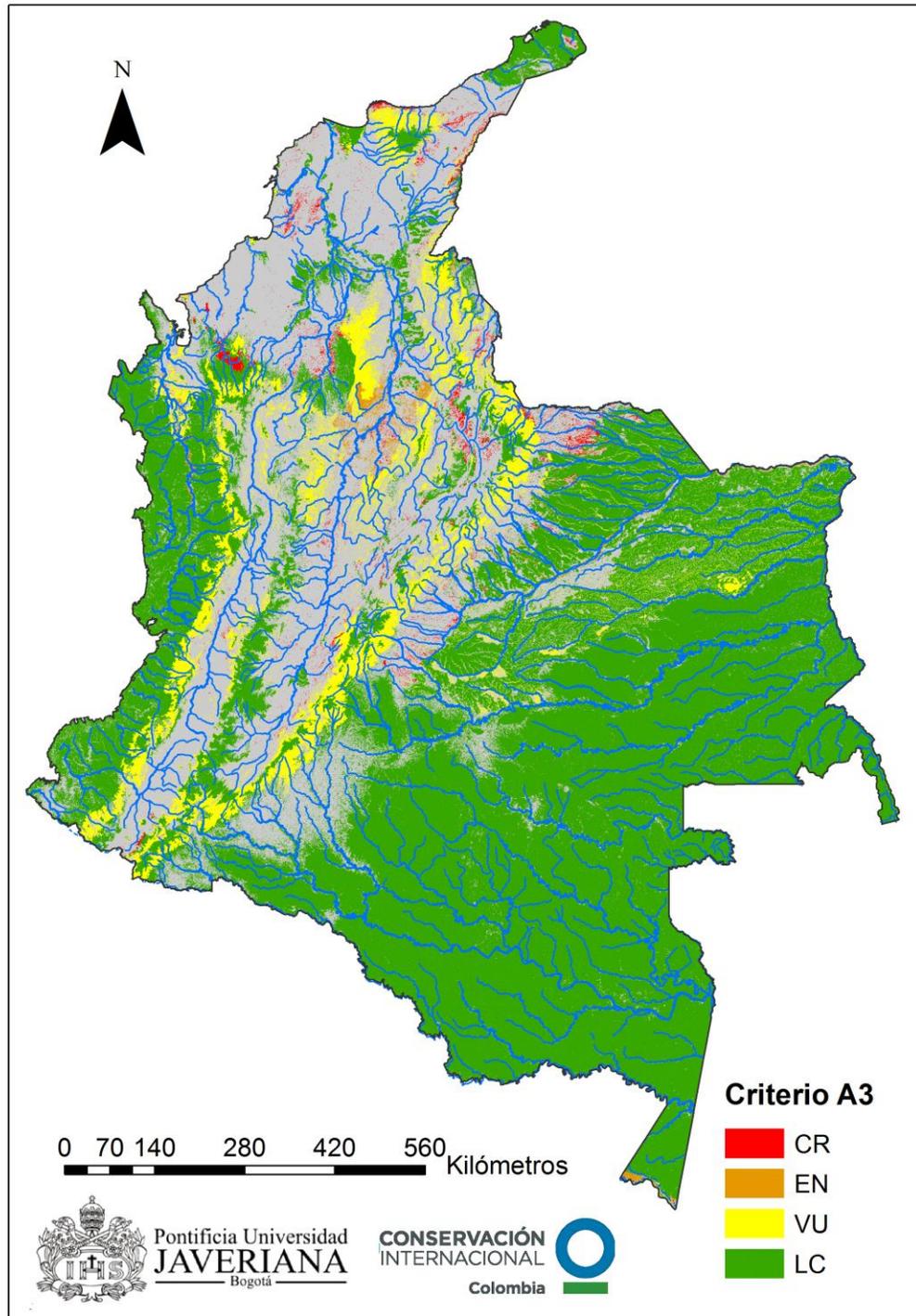


Figura 16. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **A3**: Histórico (desde 1750).

Evaluación del Criterio B

El criterio B (reducción en la distribución- geográfica), se analizó a través de los sub-criterios B1ai (Figura 17), B1aii (Figura 18), B1aiii (Figura 19), B2ai (Figura 20), B2aii (Figura 21) y B2aiii (Figura 22). Entre estos el que aportó mayores calificaciones de riesgo fue el B1aiii que se valuó mediante cambios en el mínimo polígono envolvente y el cambio en la fragmentación como factor informante sobre disrupción de procesos bióticos como la movilidad de las especies. La mayor parte de los ecosistemas con mayor riesgo por este concepto se ubican en la región Caribe (3 EN) y Andina (2 EN).

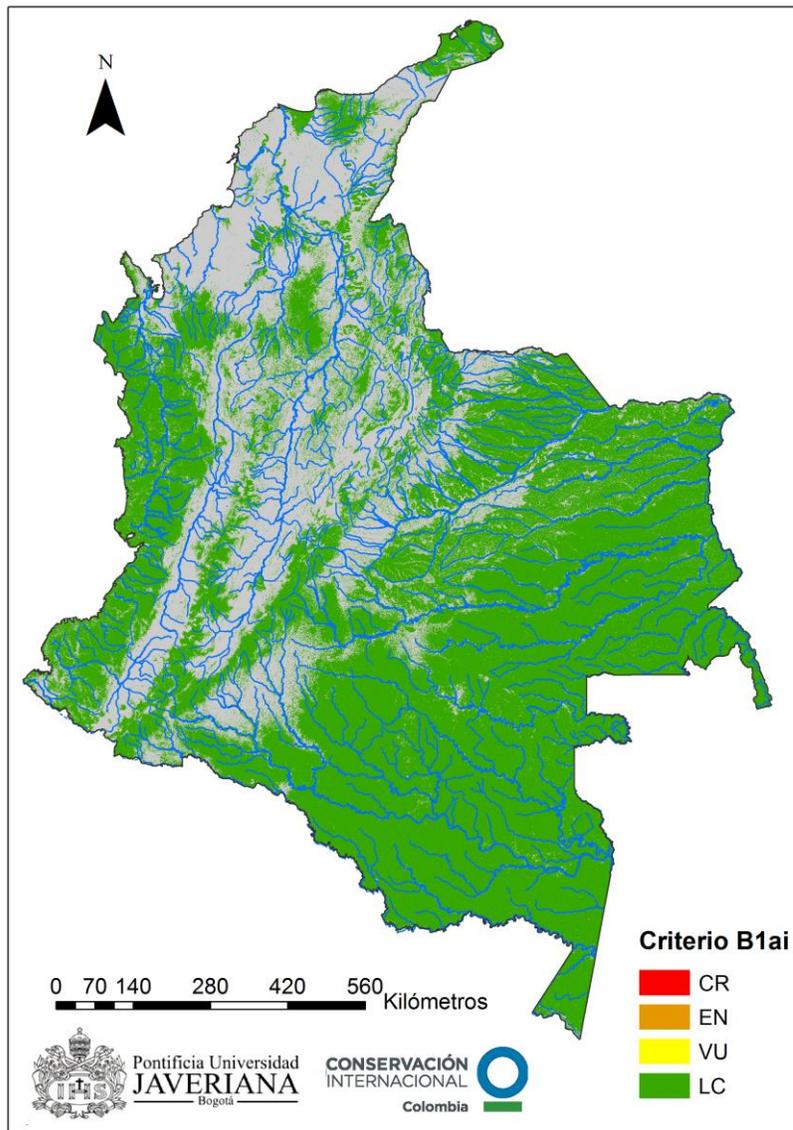


Figura 17. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **B1ai**: Extensión de ocurrencia (mínimo polígono envolvente de todas las ocurrencias) y una medida de la extensión espacial apropiada para el ecosistema.

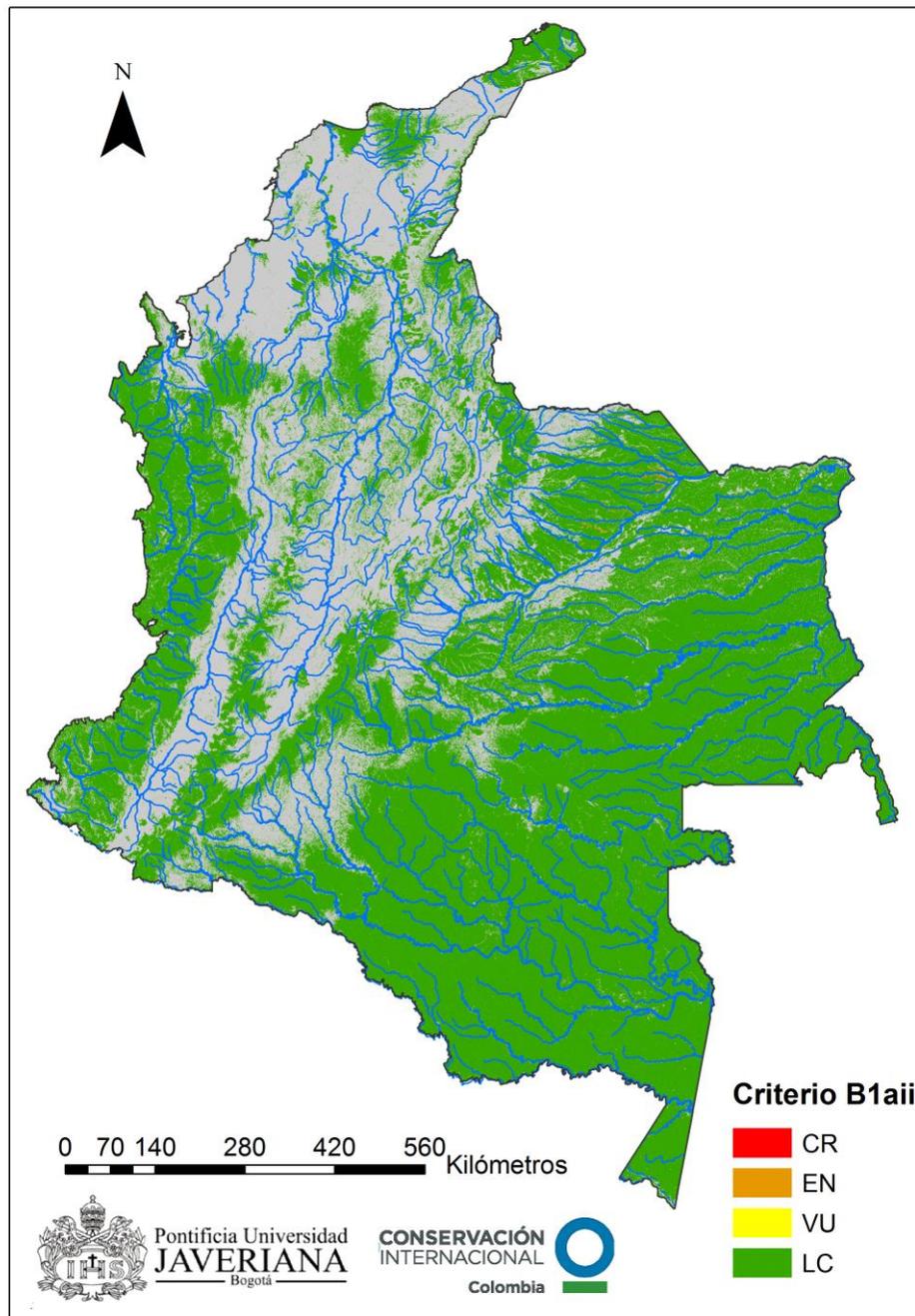


Figura 18. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **B1a.ii**: Extensión de ocurrencia (mínimo polígono envolvente de todas las ocurrencias) y una medida de la calidad ambiental apropiada para la biota del ecosistema mediante Huella espacial (Etter et al. 2011a).

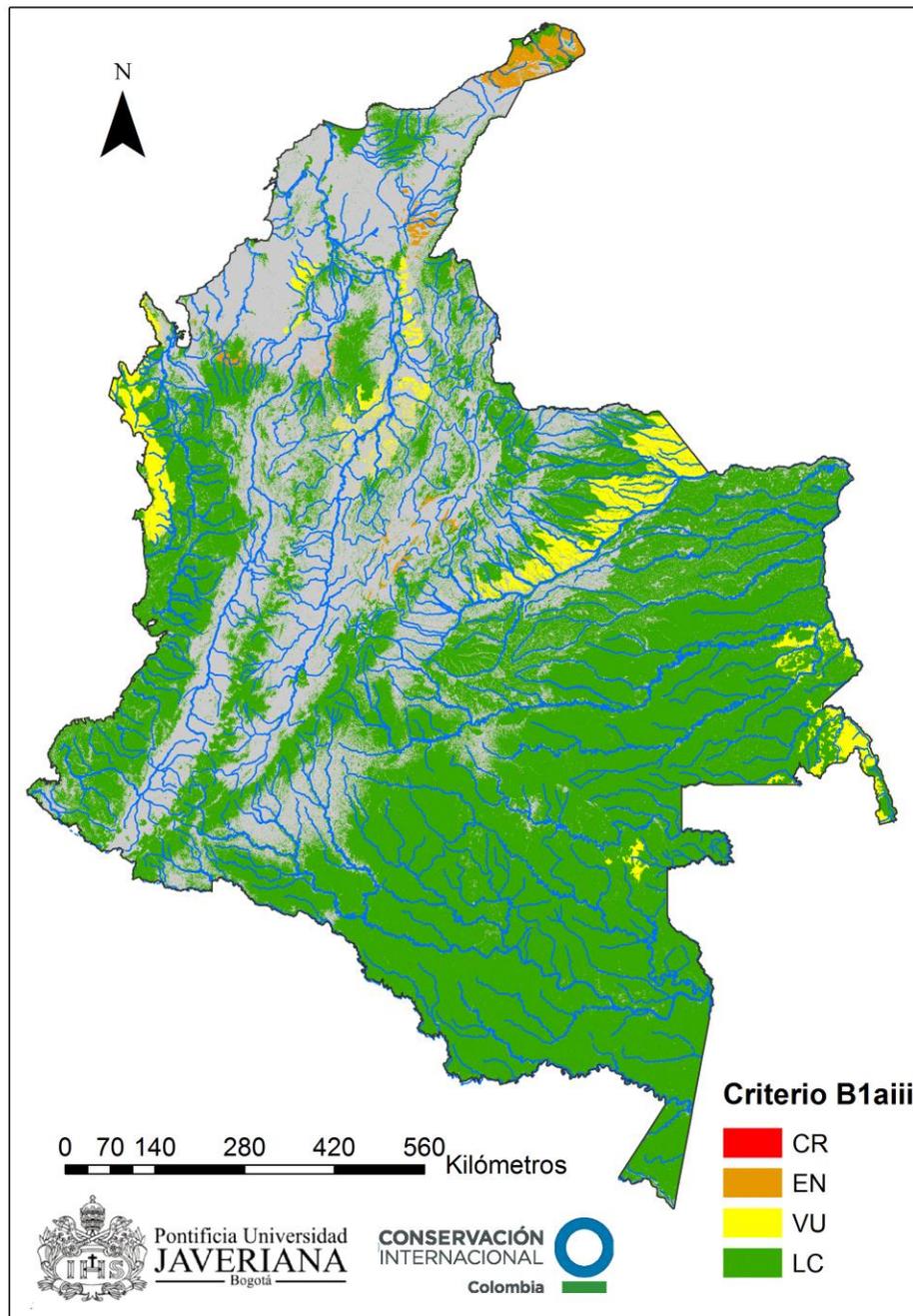


Figura 19. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **B1a.iii**: Extensión de ocurrencia (mínimo polígono envolvente de todas las ocurrencias) y una medida de la interrupción de los procesos bióticos (Nivel de fragmentación del ecosistema).

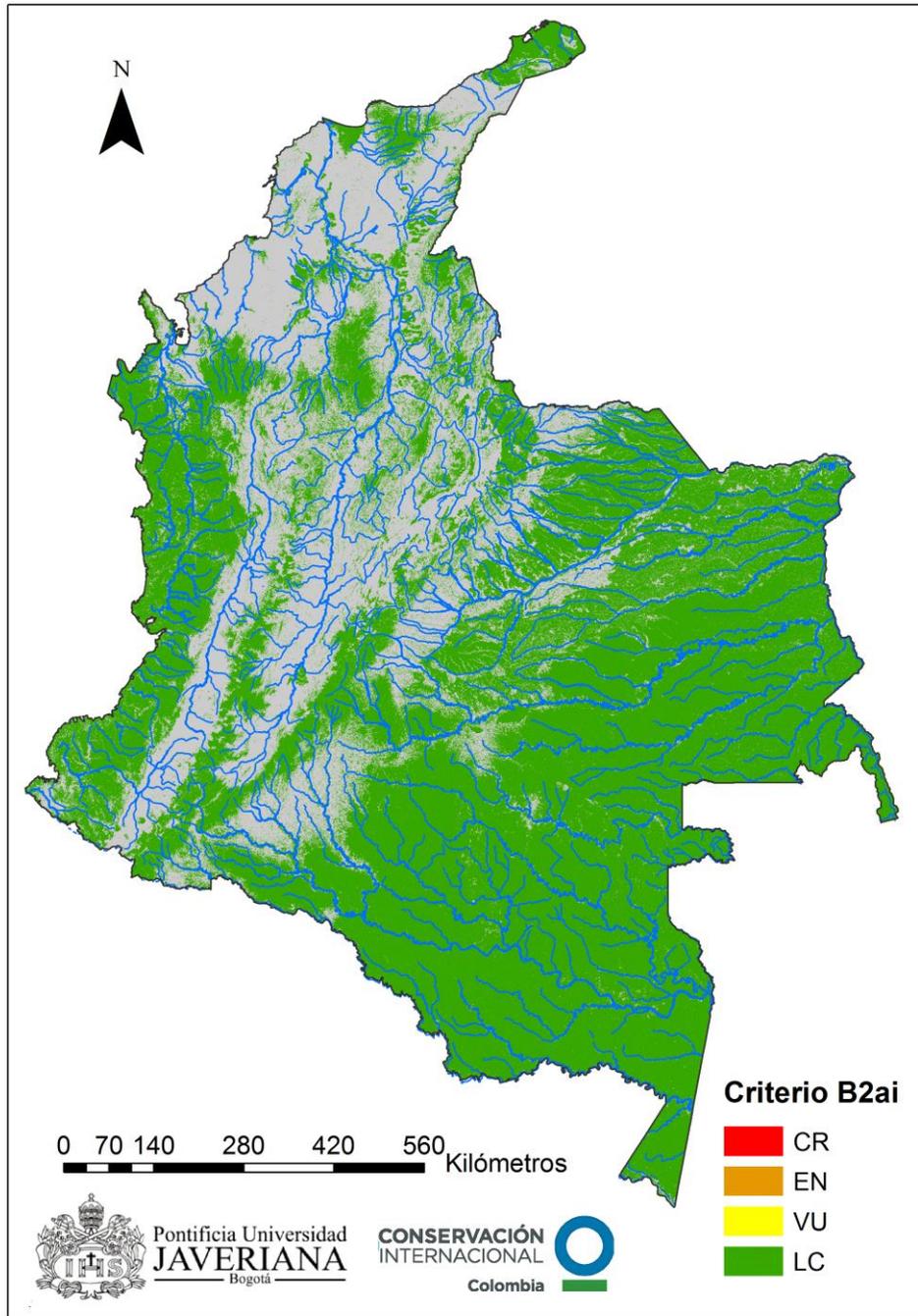


Figura 20. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **B2ai**: Extensión de ocurrencia (número de celdas de 10x10 km que ocupan todas las ocurrencias) y una medida de la extensión espacial apropiada para el ecosistema.

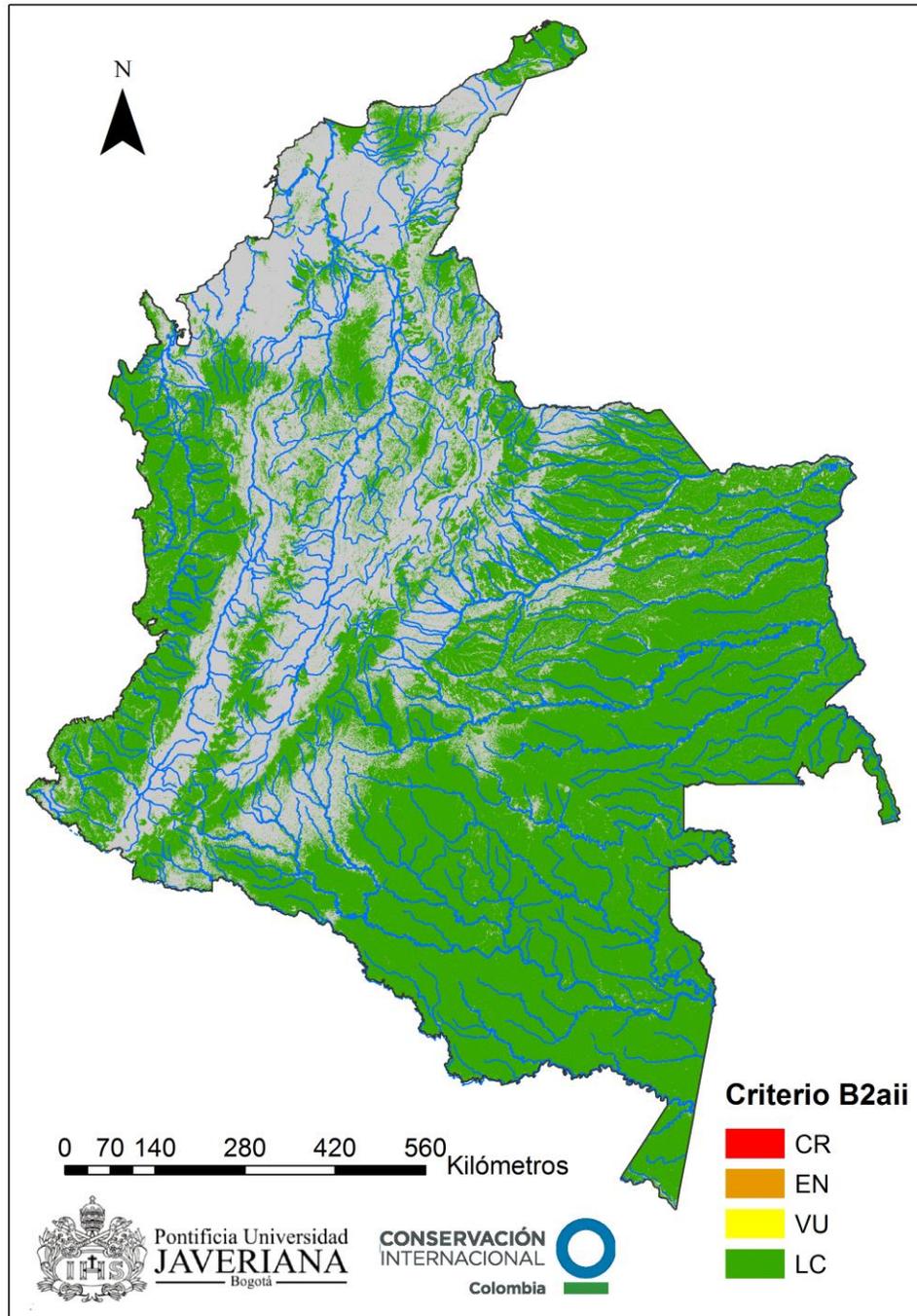


Figura 21. Evaluación de riesgo con el sub-criterio **B2a11** (Extensión de ocurrencia (número de celdas de 10x10 km que ocupan todas las ocurrencias) y una medida de la calidad ambiental apropiada para la biota del ecosistema mediante Huella espacial (Etter et al. 2011a).

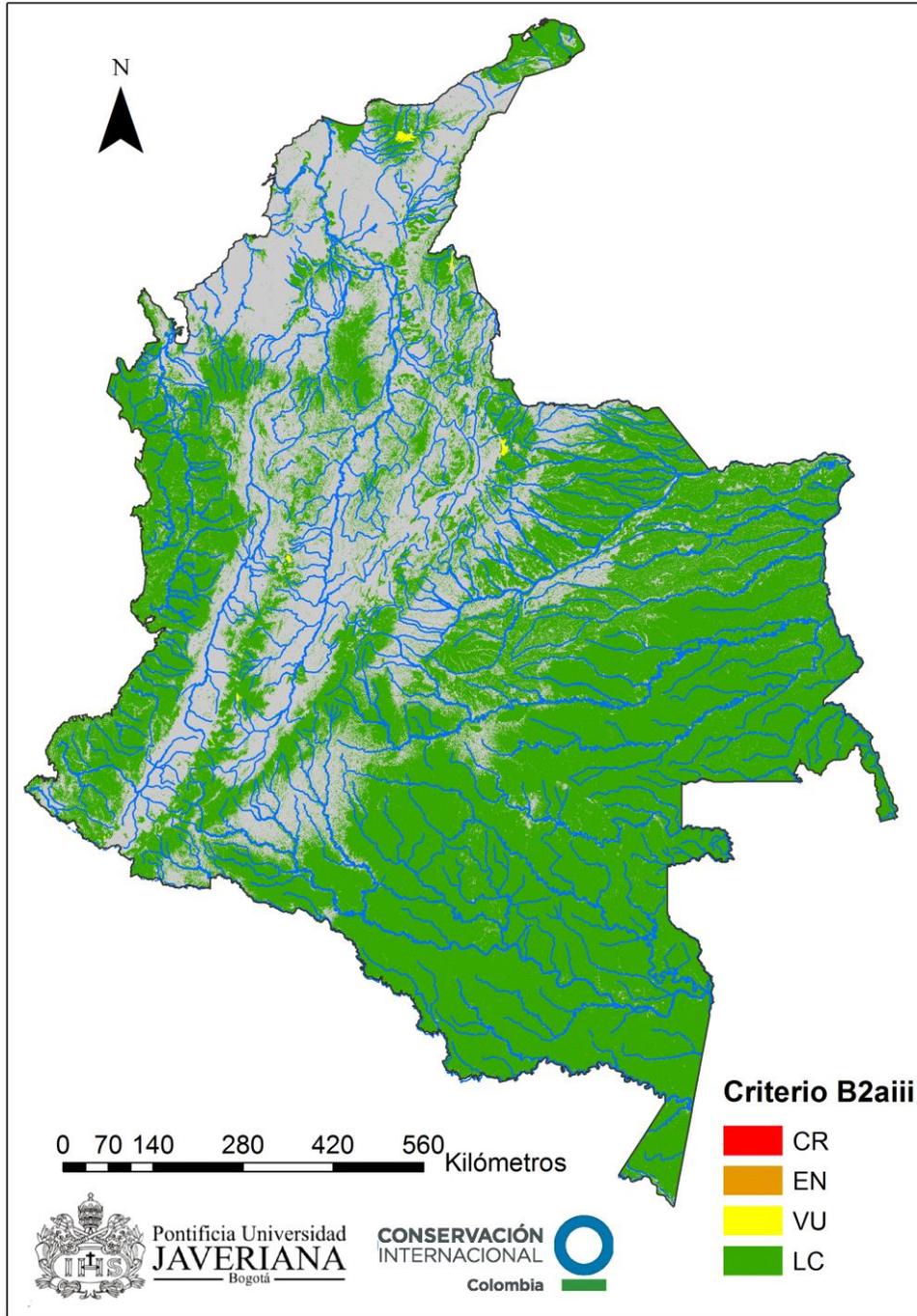


Figura 22. Mapa de evaluación del criterio **B2aiii**: Extensión de ocurrencia (número de celdas de 10x10 km que ocupan todas las ocurrencias) y una medida de la disrupción de los procesos bióticos (Nivel de fragmentación del ecosistema).

Evaluación del Criterio C

El criterio C se analizó solo mediante el sub-criterio C2 (Figura 23), analizando el riesgo que representan los cambios en la disponibilidad de agua precipitada debido al efecto del cambio climático. Los ecosistemas categorizados con riesgo CR y EN se ubican en áreas localizadas de ecosistemas áridos y muy estacionales del Caribe y la Orinoquia.

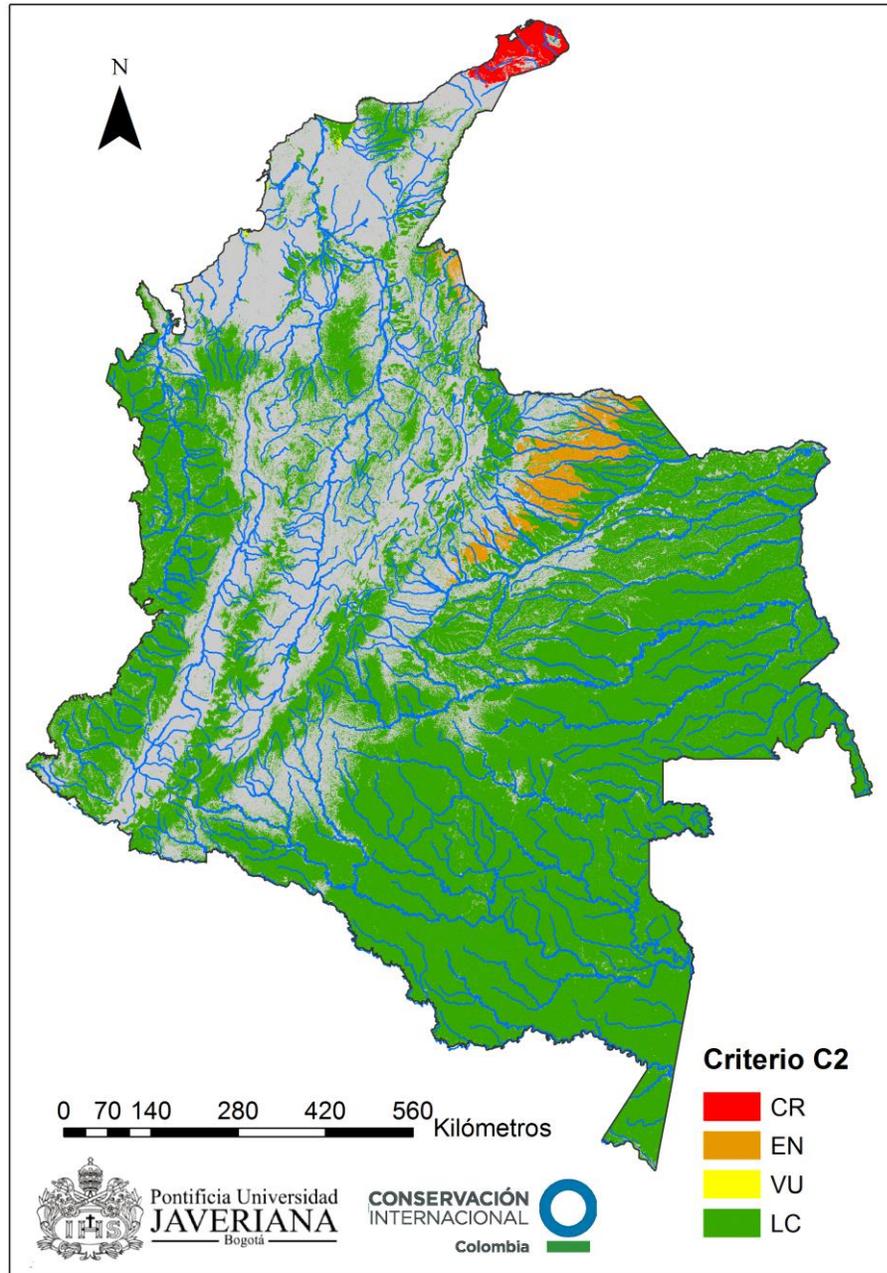


Figura 23. Mapa de evaluación del criterio **C2**: Degradación ambiental por pérdida en la Disponibilidad Agua durante los próximos 50 años.

Evaluación del Criterio D

El criterio D se analizó solo mediante los tres sub-criterios D1 (Figura 24), D2 (Figura 25) y D3 (Figura 26), analizando el riesgo que representan los cambios de desplazamiento y pérdida de procesos de dispersión de semillas y polinización, por transformación de ecosistemas y por efectos de cambio climático. El nivel de riesgo asociado los sub-criterios D1 y D3, guarda en general una relación estrecha con algunas del criterio A por considerar la extensión remanente de los ecosistemas, y ubicándose ante todo en la región Caribe y Andina. En cuanto al criterio D2 que evalúa los cambios por el desplazamiento espacial de los procesos en un escenario de cambio climático, la región más afectada es la Amazonia oriental (en el área del Escudo Guayanés).

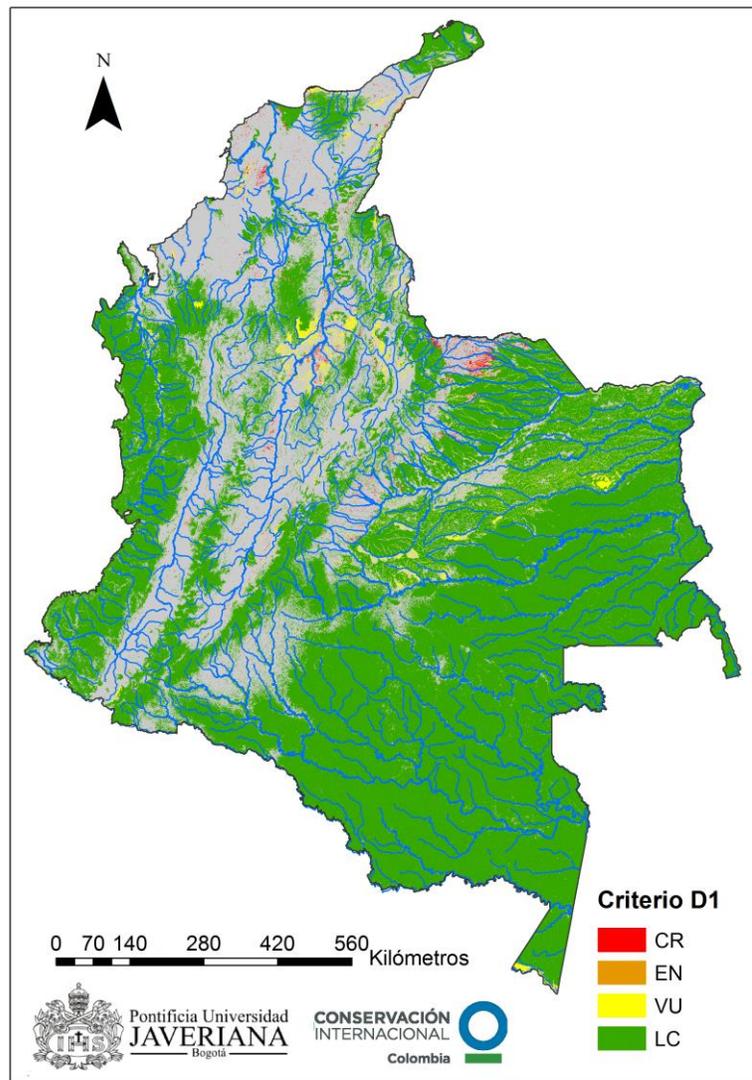


Figura 24. Mapa de evaluación del criterio **D1**: Disrupción de procesos bióticos por pérdida de procesos de dispersión y polinización, de los pasados 50 años (1970-2014).

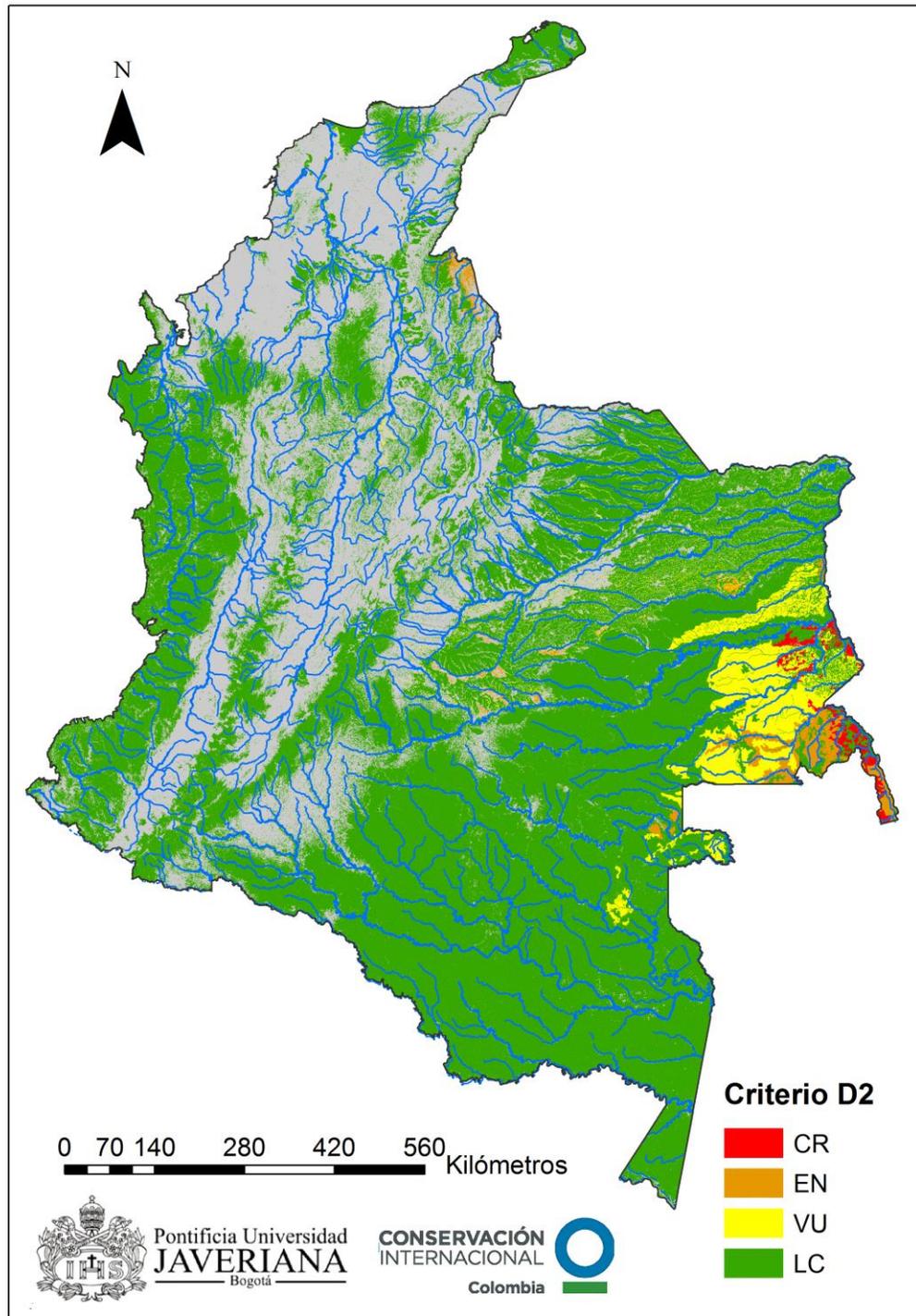


Figura 25. Mapa de evaluación del criterio **D2**: Disrupción de procesos bióticos por pérdida de procesos de dispersión y polinización, durante los próximos 50 años (2014-2050).

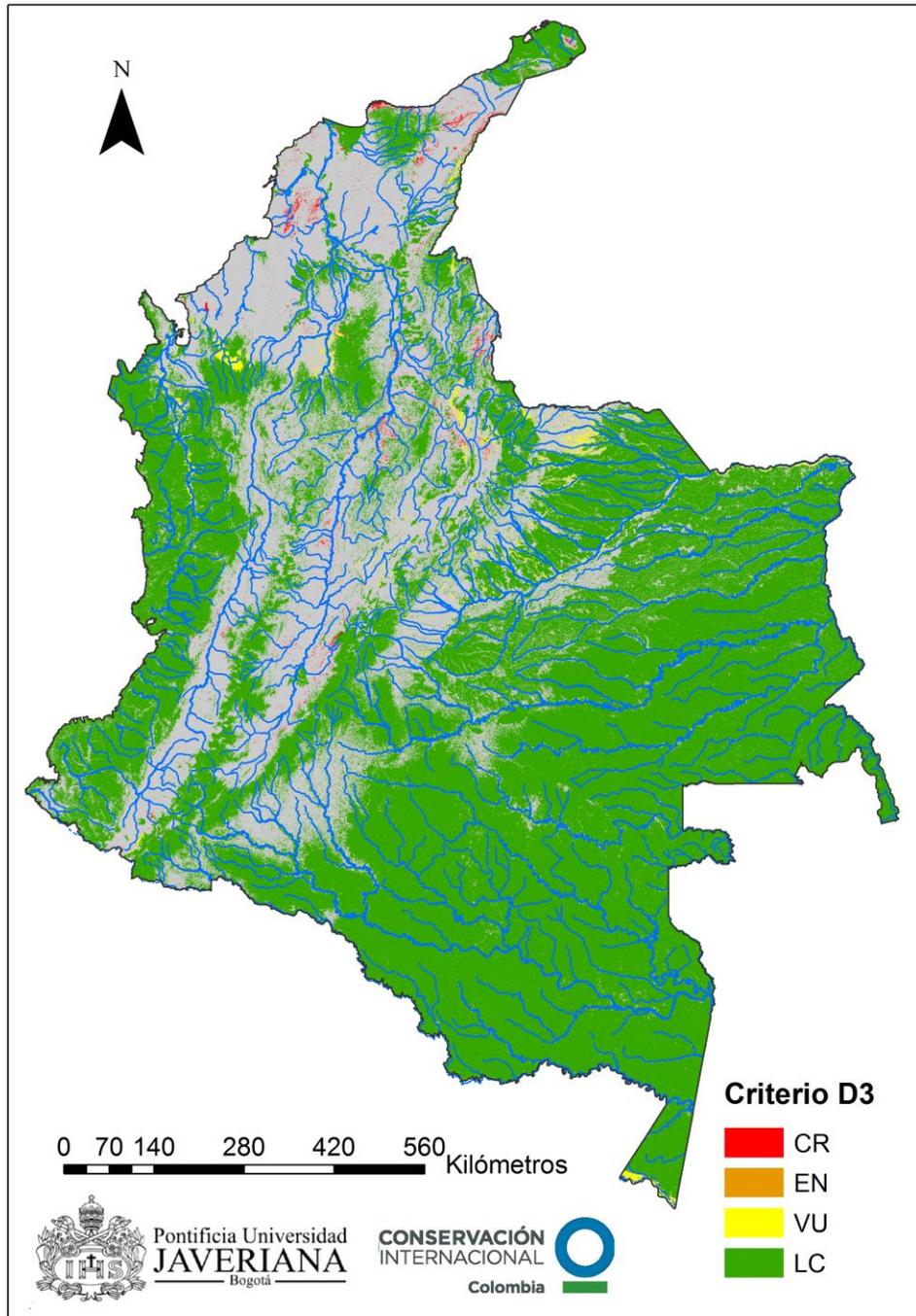


Figura 26. Mapa de evaluación del criterio **D3**: Disrupción histórica (desde 1750) de procesos bióticos por pérdida de procesos de dispersión y polinización.

Evaluación general final

La evaluación final muestra una distribución de ecosistemas críticos en todas las regiones del país, pero principalmente en el Caribe y los Andes (Figura 27, Tabla 12). En estas dos regiones casi la totalidad de los ecosistemas están por lo menos en la categoría VU.

El área total remanente de los ecosistemas CR es de 2,182,983 hectáreas que representan solo un 13% de su área original (17,004,231 ha).

La mayoría de los ecosistemas en estado CR, deben su condición a su desaparición física por su reemplazo por coberturas antropogénicas, es decir la reducción en la extensión -y distribución- geográfica, que termina reforzándose por la pérdida de procesos ecológicos (dispersión de semillas y polinización) debido al mismo proceso de transformación (Tabla 13).

Llama la atención el nivel de riesgo en la Guajira, el piedemonte Llanero y el Guainía, donde tres ecosistemas deben su condición CR a las amenazas de pérdida de procesos abióticos (C) y bióticos (D), como consecuencia del cambio climático ZD-A1, ZD-A3 y ZBH-B4b.

Tabla 12. Ecosistemas categorizados como críticos (CR).

Ecosistema	Código	Criterios de calificación	% reman.
<i>Arbustales de Desierto Tropical</i>	ZD- A1	C2	99%
	ZD- A3	C2	99%
<i>Arbustales y bosques bajos secos andinos</i>	O_ZBH- A5	A2b, A3, D2	7%
	O_ZBH- A6	A1, A3, D1, D3	2%
<i>Bosques secos tropicales</i>	ZBS- B10	A1, A3, D1, D3	1%
	ZBS- B11	A1, A2b, A3, D1, D3	2%
	ZBS- B12	A3, D3	9%
	ZBS- B13	A1, A3, D1, D3	1%
<i>Bosques húmedos tropicales</i>	ZBH- B1b	A1, A3, D1	15%
	ZBH- B1c	A1, A3, D1, D3	7%
	ZBH- B4b	D2	96%
<i>Bosques sub-húmedos tropicales andinos</i>	O_ZBH- B22	A1, A3, D1, D3	0%
	O_ZBH B21c	A3	14%
<i>Bosques altos sub-húmedos tropicales</i>	ZBsH B8	A3	17%
	ZBsH B9	A3	16%
<i>Bosques bajos secos tropicales andinos</i>	O_ZBH- B23	A3, D1, D3	7%
<i>Bosques inundables humedales</i>	He_ZBS- B33	A1, A3, D1, D3	9%
	He_ZD- B34	A1, A3, D1, D3	6%
<i>Humedales B. húmedo montanos</i>	O_ZBH- P1	A1, A3, D1, D3	3%
<i>Humedales B. seco</i>	He_ZBS- P3	A1, A3, D1, D3	5%
	He_ZBS- P4	A1, A3, D1, D3	5%
<i>Sabanas y arbustales húmedos tropicales</i>	P_ZBH S4	A3	14%

Entre los ecosistemas en estado CR, uno se encuentra en estado prácticamente colapsado: los Bosques Sub-húmedos montanos de los altiplanos (O_ZBH-B22), del cual subsisten solo unas pocas hectáreas en las inmediaciones de la ciudad de Bogotá (van der Hammen 1998).

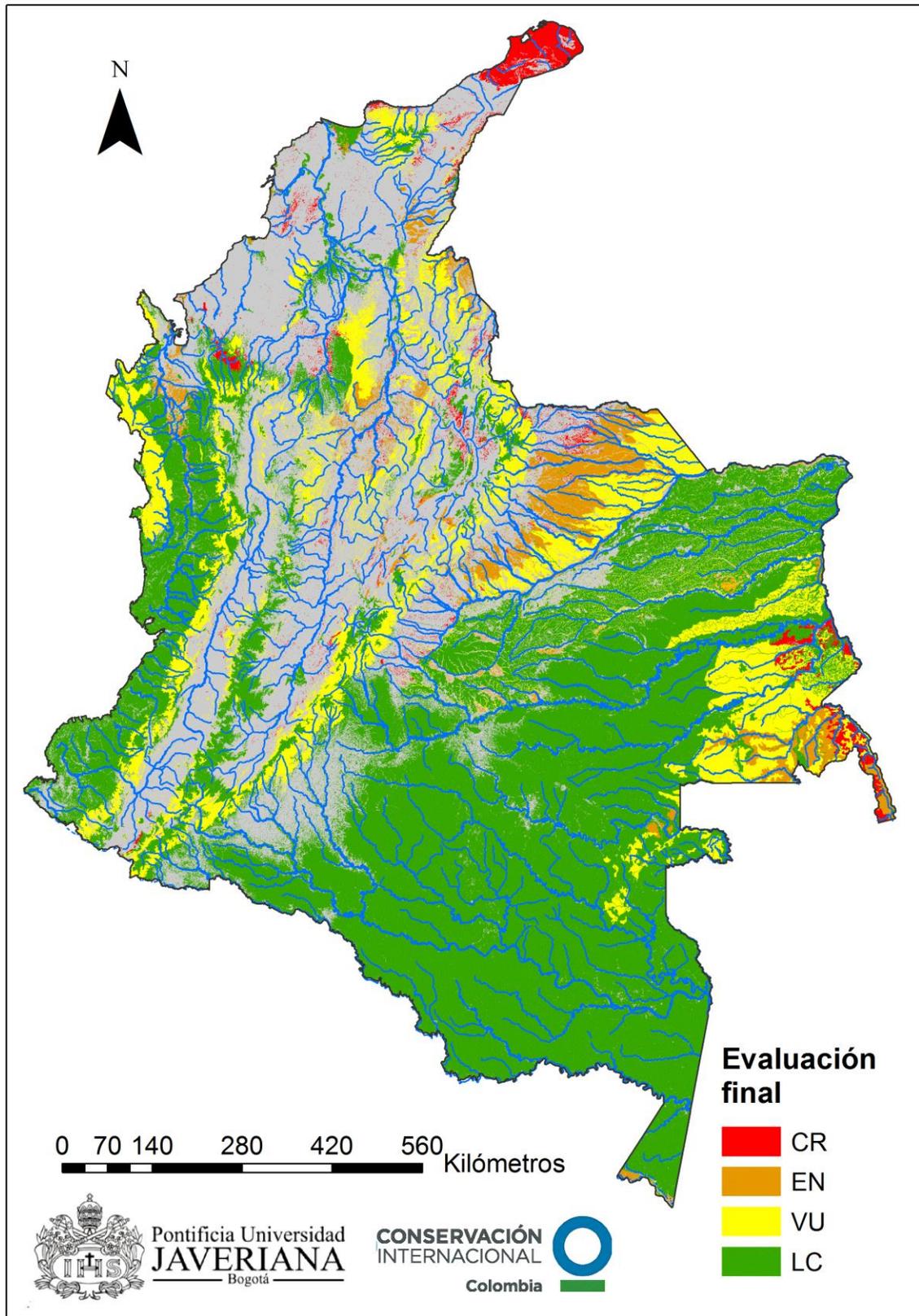


Figura 27. Evaluación final de riesgo de los ecosistemas colombianos.

Procesos de transformación y amenaza por ecosistemas

Un aspecto importante para valorar las amenazas a los ecosistemas, son los procesos activos implicados en la transformación de los mismos (Tabla 9). En general, se encontró que la degradación del suelo por erosión, el inadecuado uso del suelo, el riesgo de incendios, y la ejecución de proyectos de infraestructura son amenaza que afectan a todos los ecosistemas que se encuentran en estado CRÍTICO, aunque en grados diferentes.

La degradación del suelo por erosión es un proceso que enfrentan cerca del 100% de los ecosistemas EN PELIGRO, mientras que el inadecuado uso del suelo amenaza al 90% de estos ecosistemas. Así mismo, la degradación del suelo por erosión le otorga un grado de amenaza al 82% de los ecosistemas en estado VULNERABLE.

Esta información permite identificar las amenazas importantes para cada ecosistema, con base en lo cual se pueden definir las variables que pueden contribuir al colapso ecosistémico.

Tabla 9. Procesos amenazantes para las áreas originales y las áreas remanentes de los ecosistemas.

CÓDIGO	PROCESOS AMENAZANTES																		EV FINAL
	Áreas originales									Áreas remanentes									
	ENERGÍA	HIDROCARBUROS	INFRA_ ESTRUCTURA	MINERÍA	CULTIVOS ILÍCITOS	USO DEL SUELO	RIESGO DE INCENDIOS	REMOCIÓN EN MASA	DEGRADACIÓN DEL SUELO POR EROSIÓN	ENERGÍA	HIDROCARBUROS	INFRA_ ESTRUCTURA	MINERÍA	CULTIVOS ILÍCITOS	USO DEL SUELO	RIESGO DE INCENDIOS	REMOCIÓN EN MASA	DEGRADACIÓN DEL SUELO POR EROSIÓN	
ZBH-B1a					Baja	Baja			Baja										LC
ZBH-B1b		Alta	Moderada			Moderada	Baja	Baja	Alta		Alta	Baja			Moderada	Baja	Baja	Moderada	CR
ZBH-B1c	Baja	Muy Alta	Muy Alta	Baja		Alta	Moderada	Baja	Alta	Baja	Muy Alta	Alta	Baja		Muy Alta	Moderada	Baja	Moderada	CR
ZBH-B1d		Muy Alta	Alta		Baja	Muy Alta	Moderada	Moderada	Moderada		Alta	Baja		Moderada	Alta	Baja	Moderada	Baja	EN
ZBH-B2a1		Baja	Baja		Baja	Baja	Baja		Baja					Baja	Baja			Baja	LC
ZBH-B2a2																			LC
ZBH-B2b	Baja	Muy Alta	Alta	Baja		Moderada	Baja	Baja	Moderada	Baja	Alta	Baja	Moderada		Moderada	Baja	Baja	Baja	EN
ZBH-B2c			Baja	Muy Alta	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja				Muy Alta	Baja	Moderada		Moderada	Baja	LC
ZBH-B2d		Muy Alta	Moderada	Baja	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Alta	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Baja	EN
ZBH-B3a1					Baja	Baja			Baja										LC
ZBH-B3a2																			LC
ZBH-B3b			Baja	Muy Alta	Baja	Baja	Baja	Moderada	Baja				Muy Alta	Baja	Baja		Moderada	Baja	LC
ZBH-B4a																			LC
ZBH-B4b						Baja									Baja				CR
ZBH-B4c									Baja									Baja	EN
ZBH-B4d																		Baja	LC
ZBH-B5		Baja	Baja		Baja	Baja	Baja		Moderada		Baja	Baja		Baja	Baja	Baja		Baja	EN
ZBH-B6									Baja									Baja	LC
ZBH-B7				Baja		Baja		Moderada	Baja				Baja		Baja		Moderada		VU
ZBSH-B8	Baja		Moderada	Muy Alta	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Alta			Baja	Moderada	Moderada	Baja	Alta	Baja	Baja	CR
ZBSH-B9	Baja	Baja	Moderada	Muy Alta	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Alta			Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	CR
ZBS-B10	Baja	Alta	Muy Alta	Baja		Alta	Alta	Baja	Muy Alta	Baja	Alta	Alta	Baja		Alta	Alta	Baja	Alta	CR
ZBS-B11	Baja	Alta	Alta	Baja		Alta	Alta	Baja	Muy Alta	Baja	Alta	Moderada	Baja		Alta	Alta	Baja	Alta	CR
ZBS-B12	Baja	Moderada	Moderada	Baja		Alta	Alta	Moderada	Alta		Moderada	Baja	Baja		Alta	Alta	Baja	Moderada	CR
ZBS-B13		Baja	Alta	Baja		Baja	Muy Alta	Baja	Muy Alta		Baja	Moderada	Baja		Baja	Muy Alta	Moderada	Muy Alta	CR
ZD-A1			Moderada				Alta	Baja	Muy Alta			Moderada				Alta	Baja	Muy Alta	CR
ZD-A2	Baja	Muy Alta	Alta			Muy Alta	Moderada	Moderada	Alta		Muy Alta	Moderada			Muy Alta	Moderada	Moderada	Muy Alta	LC
ZD-A3			Moderada				Moderada	Baja	Alta			Moderada			Moderada	Baja	Muy Alta	CR	
P_ZBH-B14									Baja									Baja	VU
P_ZBH-B15									Baja									Baja	VU
P_ZBH-S1						Baja	Baja								Baja	Baja			LC
P_ZBH-A4									Baja									Moderada	LC
P_ZBH-S2						Baja	Baja								Baja	Baja		Baja	LC
P_ZBH-S3		Muy Alta	Muy Alta			Alta	Moderada	Baja	Muy Alta		Muy Alta	Moderada			Alta	Baja	Baja	Alta	EN
P_ZBH-S4		Baja	Alta			Alta	Baja	Baja	Alta		Alta	Moderada			Alta	Moderada	Baja	Moderada	CR

(cont.)

CÓDIGO	PROCESOS AMENAZANTES																EV FINAL		
	Áreas originales								Áreas remanentes										
	ENERGÍA	HIDROCARBUROS	INFRA_ESTRUCTURA	MINERÍA	CULTIVOS ILÍCITOS	USO DEL SUELO	RIESGO DE INCENDIOS	REMOCIÓN EN MASA	DEGRADACIÓN DEL SUELO POR EROSIÓN	ENERGÍA	HIDROCARBUROS	INFRA_ESTRUCTURA	MINERÍA	CULTIVOS ILÍCITOS	USO DEL SUELO	RIESGO DE INCENDIOS		REMOCIÓN EN MASA	DEGRADACIÓN DEL SUELO POR EROSIÓN
P_ZBH-S5		Moderada	Baja			Baja	Alta		Alta		Baja	Baja		Baja	Alta		Moderada	LC	
P_ZBH-S6		Baja	Baja			Baja	Moderada		Alta		Moderada	Baja		Baja	Moderada		Alta	LC	
P_ZBH-S7			Baja			Baja	Alta		Moderada			Baja		Baja	Alta		Moderada	LC	
P_ZBH-S8		Baja	Baja			Baja	Alta				Moderada	Baja		Baja	Alta		Baja	EN	
P_ZBH-S9		Alta	Baja			Baja	Moderada		Moderada		Alta	Baja		Baja	Moderada		Moderada	EN	
P_ZBH-S10		Moderada	Baja			Baja	Alta		Moderada		Alta	Baja		Baja	Alta		Baja	VU	
P_ZBS-S11	Baja	Muy Alta	Muy Alta	Baja		Alta	Alta	Baja	Muy Alta		Muy Alta	Muy Alta		Alta	Alta	Baja	Muy Alta	VU	
P_ZBS-S12	Baja	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta		Muy Alta	Muy Alta	Baja	Alta	Baja	Muy Alta	Alta	Muy Alta		Muy Alta	Alta	Baja	Muy Alta	EN
O_ZBH-B16					Baja	Baja	Moderada		Baja				Baja	Baja	Moderada			LC	
O_ZBH-B17							Moderada								Moderada			LC	
O_ZBH-B18							Alta	Baja							Alta	Baja		LC	
O_ZBH-B19a			Baja	Alta	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja	Muy Alta	Baja	Baja	Baja	Moderada	Baja	LC
O_ZBH-B19b	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja	Baja	Moderada		Baja	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja	Baja	Baja	VU
O_ZBH-B20a	Baja	Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Baja	Moderada	VU
O_ZBH-B20b	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Moderada		Baja	Baja	Baja	Baja	Moderada	Baja	Moderada	Baja	VU
O_ZBH-B21a		Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Moderada		Baja	Baja	Baja		Baja	Baja	Moderada	Baja	LC
O_ZBH-B21b		Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Moderada		Baja	Baja	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Baja	VU
O_ZBH-B21c	Baja	Baja	Muy Alta	Baja		Alta	Moderada	Baja	Alta	Baja	Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Baja	Moderada	CR
O_ZBH-B21d		Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja	Baja		Moderada	Baja	Alta	Baja	LC
O_ZBH-B22	Baja	Moderada	Muy Alta	Baja		Alta	Moderada	Baja	Muy Alta	Baja	Baja	Muy Alta	Baja		Alta	Moderada	Baja	Alta	CR
O_ZBH-S13			Baja	Baja		Baja	Baja	Moderada	Baja			Baja	Baja		Baja	Baja	Moderada		LC
O_ZBH-S14		Baja	Baja	Baja		Baja	Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja			Baja	Baja	Moderada	Baja	LC
O_ZBH-S15	Baja	Baja	Moderada	Baja		Moderada	Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja	Baja		Moderada	Baja	Baja	Baja	EN
O_ZBH-N							Baja	Moderada								Baja	Moderada	Baja	VU
Oz_ZBH-B23	Moderada	Baja	Muy Alta	Baja		Moderada	Moderada	Moderada	Muy Alta	Baja	Baja	Alta	Baja		Alta	Moderada	Moderada	Alta	CR
Oz_ZBH-A5	Baja	Baja	Muy Alta	Baja		Moderada	Moderada	Moderada	Muy Alta	Baja	Baja	Alta	Baja		Alta	Moderada	Moderada	Alta	CR
Oz_ZBH-A6	Baja	Baja	Muy Alta	Baja		Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Baja	Baja	Alta	Moderada		Alta	Moderada	Baja	Muy Alta	CR
Oz_ZBH-S16	Moderada		Muy Alta			Moderada	Alta	Moderada	Alta	Moderada		Moderada		Alta	Alta	Moderada	Muy Alta	LC	
O_ZBH-P1	Baja	Baja	Muy Alta	Baja		Moderada	Moderada	Baja	Muy Alta			Baja			Baja	Baja	Moderada	Alta	CR
He_ZBH-B24		Moderada	Moderada	Baja		Moderada	Baja		Moderada		Moderada	Baja	Baja		Moderada	Baja		Baja	EN
He_ZBH-B25			Baja			Moderada	Baja		Baja						Moderada		Baja	Baja	EN
He_ZBH-B26		Baja	Baja		Baja	Baja	Baja		Baja		Baja		Baja		Baja			Baja	LC
He_ZBH-B27			Baja	Muy Alta	Baja	Moderada		Baja	Baja			Muy Alta	Baja		Moderada		Baja	Baja	LC
He_ZBH-B28					Baja	Baja			Baja				Baja		Baja				LC
He_ZBH-B29		Baja	Baja			Moderada	Baja		Baja		Baja				Moderada	Baja		Baja	VU
He_ZBH-B30									Baja										LC
He_ZBH-B31		Baja	Baja			Baja	Moderada		Baja		Moderada	Baja			Baja	Moderada		Baja	VU
He_ZBH-B32				Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja				Baja	Moderada	Baja		Baja	Baja	LC
He_ZBH-P2						Baja									Baja				EN
He_ZD-B33		Baja	Alta	Baja		Baja	Muy Alta	Baja	Alta		Moderada	Moderada	Baja		Baja	Muy Alta	Baja	Alta	CR
He_ZBS-B34	Baja	Alta	Alta	Baja		Alta	Moderada	Baja	Muy Alta	Baja	Muy Alta	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Baja	Baja	CR
He_ZBS-P3		Baja	Baja	Baja		Moderada	Moderada		Moderada		Alta	Baja	Moderada		Moderada	Moderada		Moderada	CR
He_ZBS-P4		Moderada	Baja	Baja		Moderada	Baja		Moderada		Muy Alta	Moderada			Moderada	Baja	Baja	Moderada	CR
Ha_ZBH-B35				Baja	Baja	Baja			Baja			Baja	Baja		Baja			Baja	LC
Ha_ZBS-B36		Baja	Baja			Moderada	Moderada		Moderada			Baja	Baja		Baja	Moderada		Moderada	EN
Agua		Baja		Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja			Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	LC

4. Aplicaciones de la evaluación de Lista Roja

A continuación se presentan aplicaciones de la evaluación del nivel de riesgo frente a las condiciones actuales de conservación de los ecosistemas remanentes, y la identificación de áreas de mayor interés para enfocar futuras actividades de restauración de los ecosistemas más amenazados. También se incluye la implementación de la LRE en el sistema de alertas tempranas de la plataforma online de *Tremarctos-Colombia 3.0*, desarrollada bajo la dirección de Conservación Internacional Colombia (CI).

4.1 Una visión del Sistema de Áreas Protegidas y su representatividad desde la Lista Roja de Ecosistemas

Las áreas protegidas son una de las múltiples formas en las que los gobiernos y la sociedad civil buscan garantizar la conservación del patrimonio natural y cultural de la humanidad. En principio, estas áreas deberían diseñarse y articularse en sistemas o redes que pudieran ser evaluados y monitoreados a gran escala, favoreciendo un proceso ordenado de planificación de la conservación (Morales, 2007). La aplicación de la Lista Roja de Ecosistemas en conservación, principalmente en áreas protegidas, permite evaluar el grado de representatividad de los ecosistemas amenazados dentro de las áreas protegidas y la diversidad biológica que tiene algún estado de conservación y/o prioridad. Las áreas remanentes de ecosistemas colombianos categorizados como amenazados fueron analizados en: (1) Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), (2) Nuevas Áreas propuestas y Ampliaciones de Parques Nacionales Naturales; (3) Otras áreas protegidas públicas y privadas, regionales y locales, de la Plataforma del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), (4) Resguardos Indígenas y Tierras de las Comunidades Negras; (5) Áreas clave de Biodiversidad (KBA), y (6) los Sitios de Patrimonio de la Humanidad (WHS) (Tabla 14).

Tabla 14. Área remanente de ecosistemas colombianos categorizados como amenazados dentro de SPNN, NPNN, RUNAP, KBA y Resguardos indígenas y tierras de las Comunidades Negras.

	Sistema de Parques Nacionales Naturales	Nuevas Áreas y ampliaciones de Parques Nacionales Naturales	Otras áreas protegidas públicas y privadas del RUNAP	Resguardos Indígenas y Tierras de las Comunidades Negras	Áreas clave de Biodiversidad (KBA)	Patrimonios de la Humanidad (WHS)
CR	0.04	0.02	0.03	0.57	0.11	0
EN	0.05	0.05	0.03	0.31	0.03	0.001
VU	0.14	0.04	0.05	0.40	0.14	0.001
LC	0.18	0.01	0.01	0.48	0.09	0.001

a. Sistema de Parques Nacionales Naturales

Las áreas protegidas correspondientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) están conformadas por 59 PNN que abarcan 15'962.277 ha. En general los ecosistemas clasificados como CR y EN tienen un nivel bajo de protección en estas áreas (Figura 28). Solo el 4% del área total de los ecosistemas en estado CR están protegidos, a comparación del 32 % del área total de VU y LC (Tabla 14). A pesar de que la región Andina y la región de la Amazonia tienen un buen número de áreas protegidas, aún existen ecosistemas que deben ser considerados para una futura delimitación de áreas claves de conservación y protección de la Orinoquía y el Caribe. El bosque seco de la región Caribe y de los valles del río Cauca y Magdalena, y las áreas de Bosque Húmedo Tropical del piedemonte llanero, no tienen ningún nivel de protección que permitan la preservación de ecosistemas y procesos ecológicos, y la disminución de los procesos amenazantes.

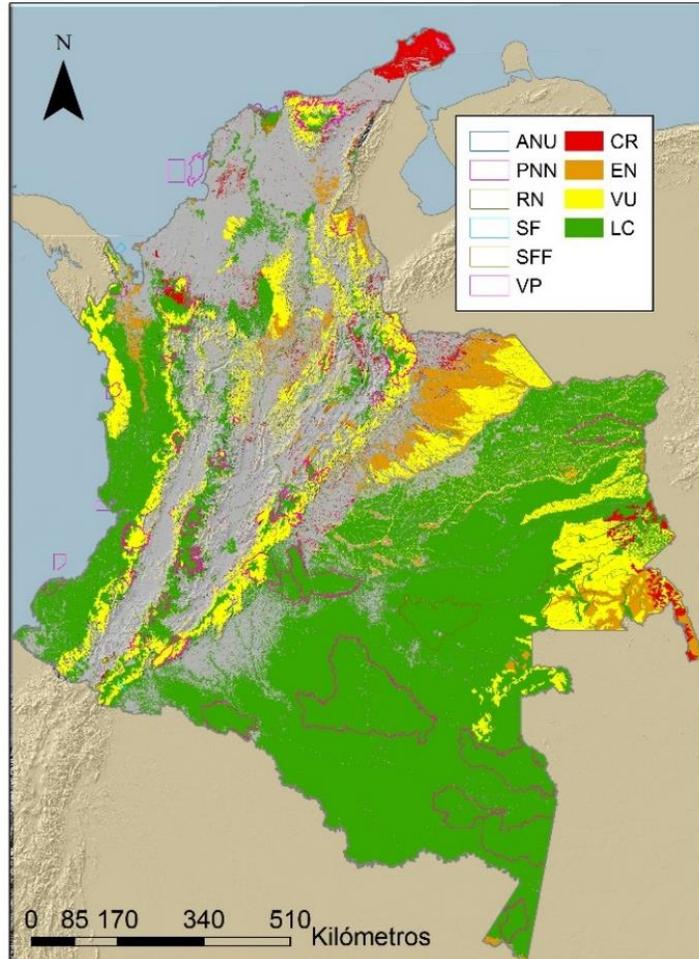


Figura 28. Representatividad de las categorías de amenaza dentro del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN). (ANU: Área Natural Única, PNN: Parque Nacional, RN: Reserva

Natural, SF: Santuario de Flora, SFF: Santuario de Flora y Fauna, VP: Vía Parque) Fuente: PNN, s.f.

b. Nuevas Áreas propuestas y ampliaciones de Parques Nacionales Naturales

Al analizar la contribución de las nuevas áreas propuestas en términos de su contribución a la protección de ecosistemas amenazados de la LRE, se evidencia un aporte para 4 ecosistemas CR, 4 ecosistemas EN y 1 ecosistema VU que no están representados dentro del sistema actual de parques nacionales (Figuras 29 y 30).

De las 1,432,338 hectáreas que abarcan las nuevas Áreas Protegidas propuestas, 51,168 hectáreas corresponden a ecosistemas CR, que amplían en un 2 % adicional su nivel de protección. Para los ecosistemas EN la cobertura se ampliaría en 1,163,919 hectáreas, incrementando en un 5% su nivel de protección (Tabla 14).

Los ecosistemas CR como los Bosques Medios Densos de los Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical (B21c), los Bosques Altos Densos del Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales (B1b) y los Bosques Altos y Medios Densos de los Helobiomas del Zonobioma de Bosque Seco Tropical (B34), presentan el mayor incremento en cobertura en las nuevas de Parques Nacionales propuestas.

Las áreas de la Serranía del Perijá, las Sabanas y Humedales de Arauca y la Serranía de San Lucas, proporcionarían cobertura en los ecosistemas CR y EN que no están representados en los Parques Nacionales en la actualidad.

Esto muestra como la LRE ayuda a determinar áreas adicionales a ser protegidas en función de su nivel de amenaza.

c. Otras áreas del sistema nacional de áreas protegidas del RUNAP

Además de los Parques y Reservas Naturales, el sistema nacional de áreas del RUNAP incluye 923 áreas protegidas de orden nacional, regional y local, públicas y privadas que representan 12'768.273 hectáreas. Estas incluyen: (1) Reservas Forestales Protectoras (Nacionales y Regionales), (2) Parques Naturales Regionales, (3) Distritos de Manejo Integrado, (4) Distritos de Conservación de Suelos, (5) Áreas de Recreación y (6) Reservas Naturales de la Sociedad Civil. Los ecosistemas CR y EN tienen cada uno un 3% de representatividad (Tabla 14), distribuido en los Distritos Regionales de Manejo Integrado, Parques Naturales Regionales y Reservas Forestales Protectoras Nacionales (Figura 31). También incluyen un 5% del área de ecosistemas clasificados como VU y un 1% de ecosistemas LC.

Las áreas protegidas regionales y las áreas protegidas privadas podrían jugar un importante papel adicional si se enfocan también en proyectos que permitan conservar y restaurar áreas de ecosistemas CR y EN, estableciendo proyectos que favorezcan la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los procesos ecológicos.

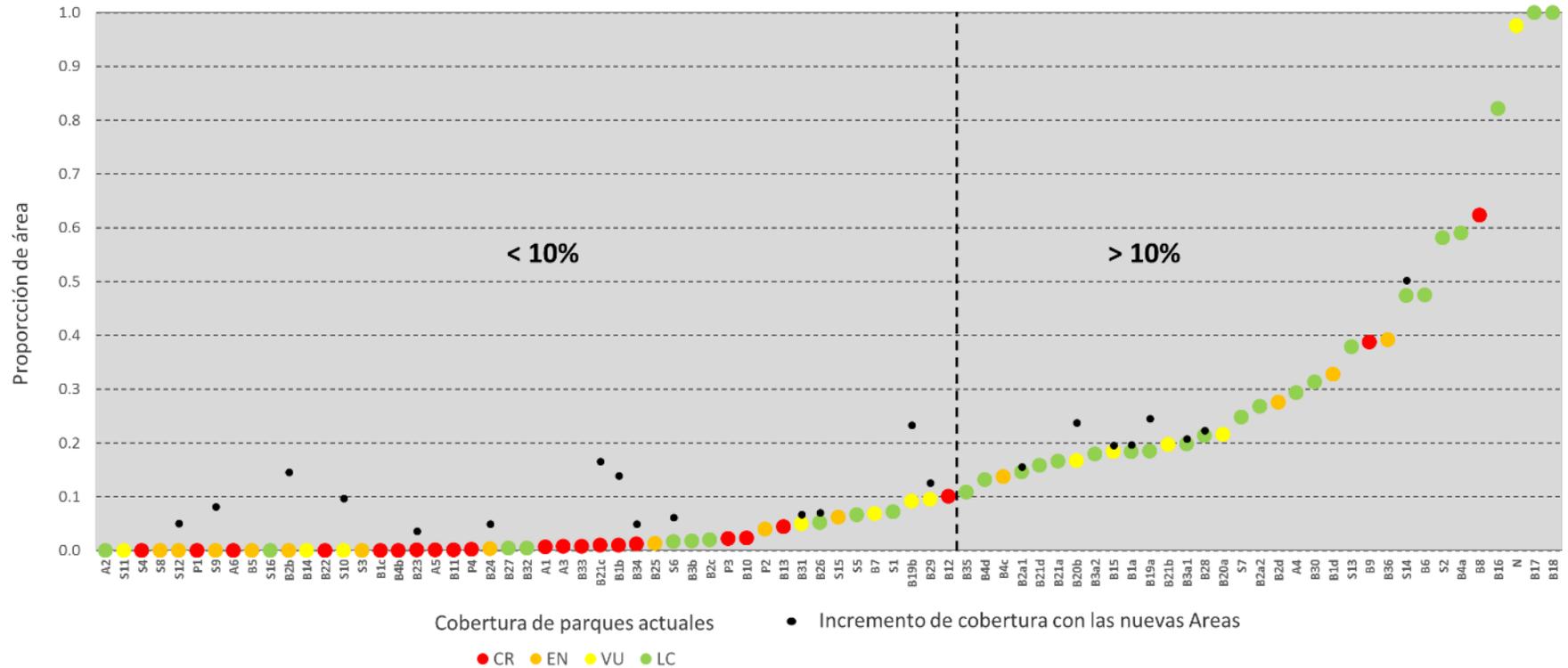


Figura 29. Incremento en la protección de los ecosistemas colombianos con base en las nuevas Áreas Protegidas propuestas.

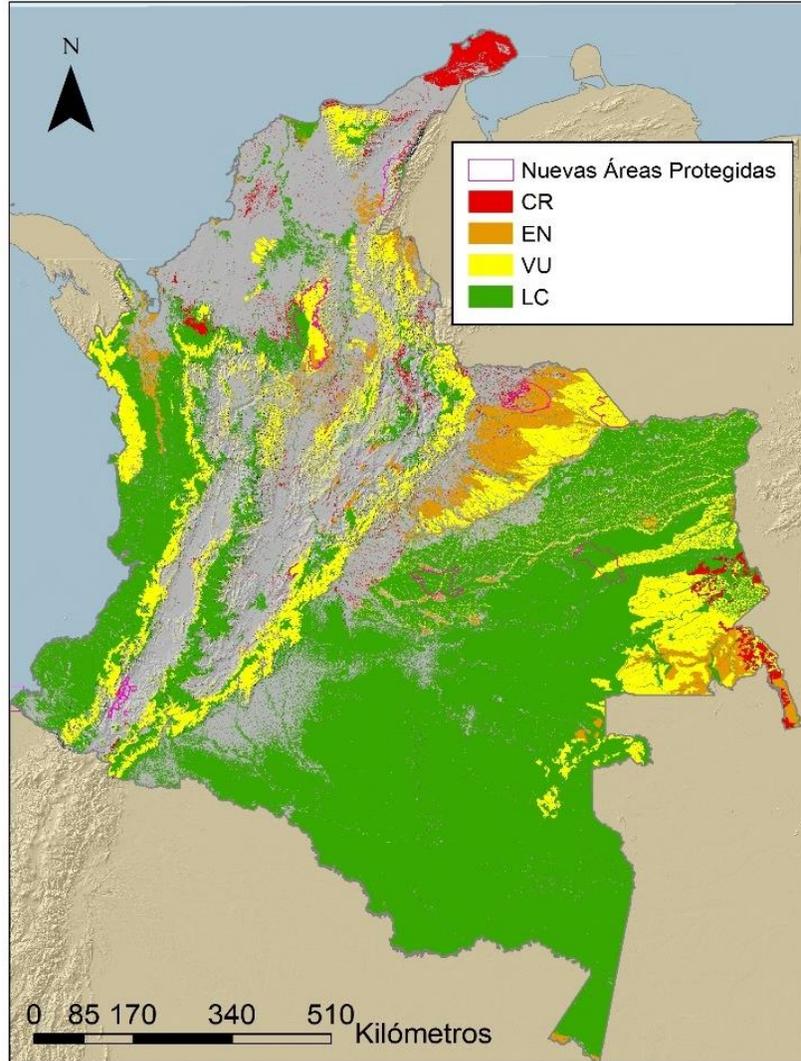


Figura 30. Representatividad de las categorías de amenaza dentro de las Nuevas Áreas y Ampliaciones de PNN. *Fuente: SPNN, 2017.*

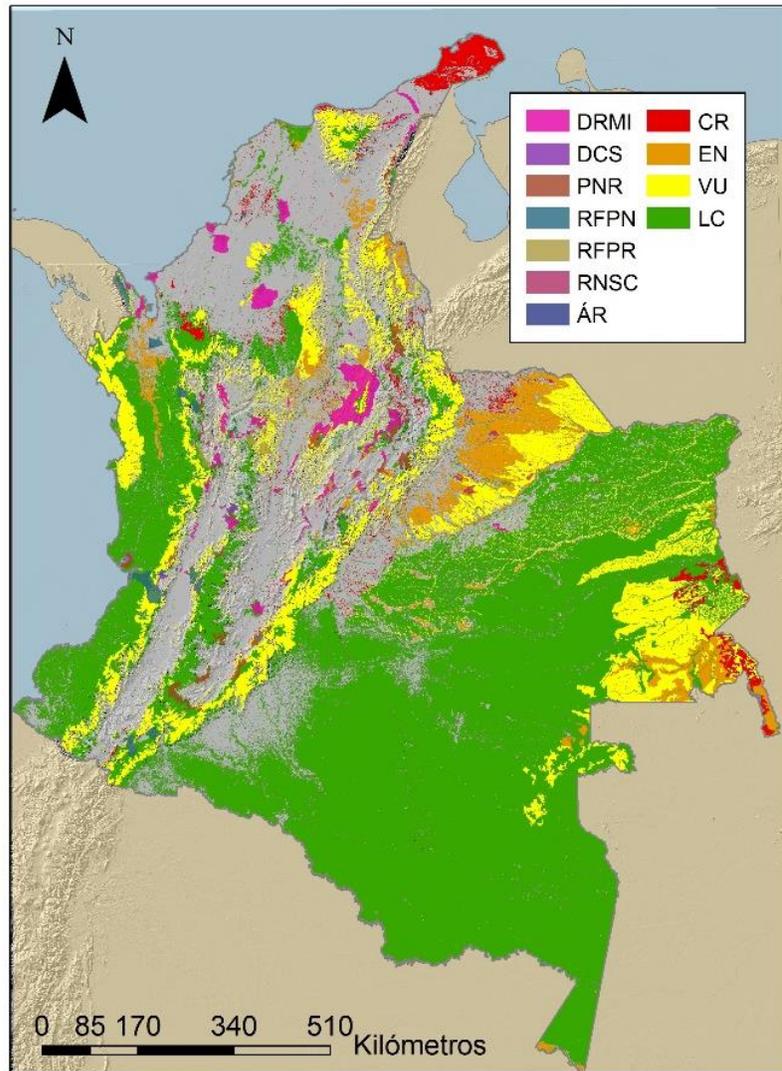


Figura 31. Representatividad de las categorías de amenaza dentro las áreas protegidas de la Plataforma del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP). (DRMI: Distritos Regionales de Manejo Integrado, DCS: Distrito de Conservación de Suelo, PNR: Parques Naturales Regionales, RFPN: Reservas Forestales Protectoras Nacionales, RFPR: Reservas Forestales Protectoras Regionales, RNSC: Reservas Naturales De La Sociedad Civil, ÁR: Áreas de Recreación). *Fuente: SPNN, 2017a.*

d. Resguardos Indígenas y Comunidades Negras

Los territorios colectivos de grupos étnicos (Resguardos Indígenas y Tierras de las Comunidades Negras) son reconocidos como una estrategia de conservación que genera representatividad ambiental, protección y conservación ambiental, y manejo de recursos naturales. Los pueblos indígenas son socios esenciales en la gestión del medio ambiente y en el

entendimiento de la ecología y las prácticas de conservación. Por esta razón, los Resguardos Indígenas son reconocidos como áreas protegidas, fundamentales para la protección y conservación de la biodiversidad. Así mismo, los territorios de las Comunidades Negras son protectores de la flora y la fauna de la región, teniendo como herramienta las creencias ancestrales de cuidado y manejo de los recursos naturales.

Los resguardos indígenas y las tierras que pertenecen a comunidades afro descendientes tienen mayor representatividad de los ecosistemas amenazados. Estos territorios recogen el 57% del área natural que se encuentra en la categoría CR, pues gran parte de esta categoría se localiza en la península de la Guajira declarada como resguardo indígena. De la categoría EN un 31% del área cae en estos territorios y un 15% de la categoría VU. Estos dos últimos porcentajes responden a los numerosos resguardos indígenas que se extienden al suroriente de la región Orinoquía y al oriente de la región Amazónica (Figura 32).

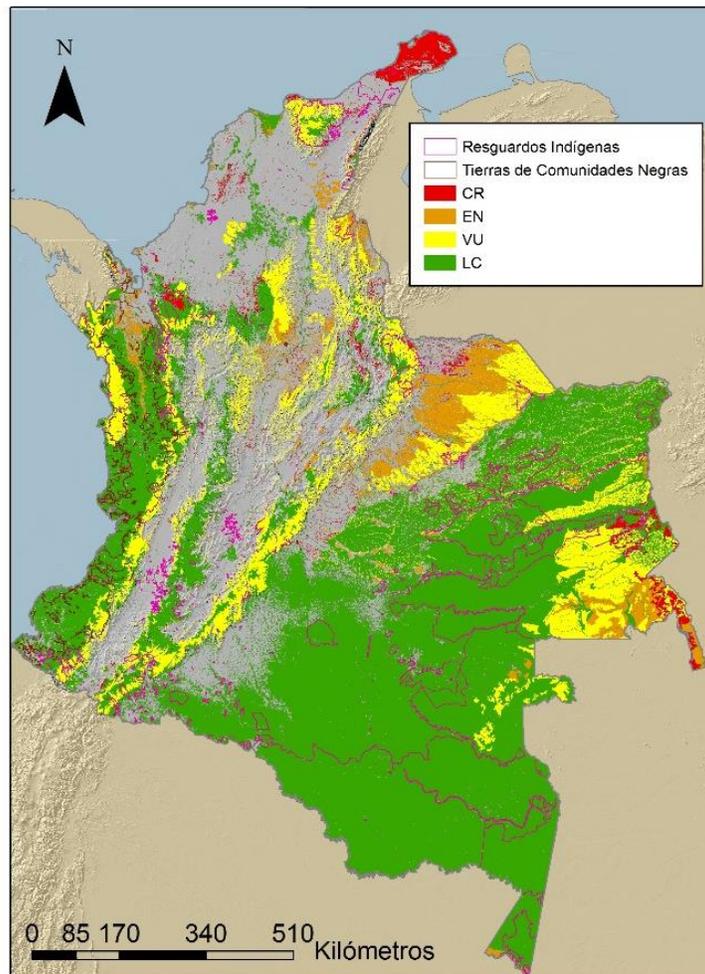


Figura 32. Representatividad de las categorías de amenaza dentro de los Resguardos Indígenas y Tierras de las Comunidades Negras. *Fuente: IGAC, 2015.*

A partir de las cifras arrojadas hasta el momento, adquieren relevancia aquellos proyectos e iniciativas que busquen promover el manejo sostenible de los recursos dentro de los territorios declarados como resguardos indígenas y territorios de comunidades negras. No obstante, estos resultados también buscan re direccionar esfuerzos gubernamentales hacia la declaración de nuevas áreas protegidas a nivel nacional, cuyo proceso tenga como principal insumo la actual categorización de ecosistemas amenazados.

d. Áreas clave de Biodiversidad (KBA) y sitios de Patrimonio de la Humanidad (WHS)

Las Áreas Clave de Biodiversidad (KBA) y los Sitios Patrimonio de la Humanidad (WHS) ubican áreas importantes para la conservación de la biodiversidad y con una relevancia cultural y natural para la sociedad. La representatividad de los ecosistemas colombianos categorizados como amenazados dentro de las KBA y WHS, permite determinar el nivel de riesgo en el cual se encuentran las especies claves para los ecosistemas colombianos.

La identificación de áreas claves de biodiversidad (KBA) de la IUCN está basada en la ubicación de sitios importantes para los diferentes subconjuntos taxonómicos, ecológicos y temáticos de la biodiversidad. Las KBA pueden ser una primera fase de selección por jurisdicciones nacionales para identificar sitios que contribuyan significativamente a la persistencia global de la biodiversidad en ecosistemas terrestres y acuáticos (IUCN, 2016).

Para Colombia se delimitaron 149 áreas de las cuales 140 se encuentran representadas dentro de ecosistemas con un grado de amenaza (11% en ecosistemas CR, 3 % en ecosistemas EN, y 14 % en ecosistemas VU). Estas 140 áreas (Anexo 7) tienen poca, parcial o en su totalidad protección ya que hacen parte del sistema nacional de áreas protegidas. De las 140, 51 áreas están protegidas en su totalidad, en 4 la mayoría del área está protegida, en 7 parcialmente protegidas por el RUNAP, en 48 poco o nada está protegido y en 30 no hay información. Por ejemplo, El Enclave Seco del río Dagua, los bosques Secos del Valle del Río Chicamocha del Zonobioma del Bosque Seco Tropical (CR) y el Complejo de Humedales Costeros de la Guajira del Zonobioma de los Desiertos tropicales (CR), tienen poco o nada de su área de distribución protegida y tienen la mayor proporción de área transformada (Figura 33).

Es importante mencionar que la mayor parte de estos sitios presentan un nivel alto de transformación humana. En Colombia, de las 140 áreas que tienen representación en ecosistemas amenazados, 91 áreas tienen más del 20% transformado. No solo sucede en áreas privadas, como el Eco Parque Los Besotes (98% de área transformada) y la Reserva Natural Laguna del Sauce (89% de área transformada), si no que la transformación también se ha

realizado en PNN, entre ellos el Parque Nacional Natural Macuira (67% de área transformada), Parque Nacional Natural de Pisba (66% de área transformada) y la Region Ecodeltaica Fluvioestuarina del Canal del Dique (58% de área transformada).

La creación de nuevas áreas protegidas, el manejo de las áreas protegidas nacionales, regionales y privadas no está favoreciendo la protección de ecosistemas colombianos. Se deben desarrollar proyectos de conservación más eficaces en áreas transformadas y establecer reglamentos más rígidos en los PNN, que permitan reducir y evitar actividades que pongan en riesgo la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas CR y EN.

En conclusión, la relación entre la LRE y las KBA permite ubicar las zonas donde la pérdida de biodiversidad, a causa de la transformación por actividades antrópicas, está poniendo en riesgo especies endémicas e importantes para el funcionamiento de los ecosistemas colombianos. La representación de ecosistemas CR en las KBA, demuestra la necesidad de aunar esfuerzos para recuperar áreas de ecosistemas amenazados y restaurar zonas que favorezcan el establecimiento de la fauna y la flora.

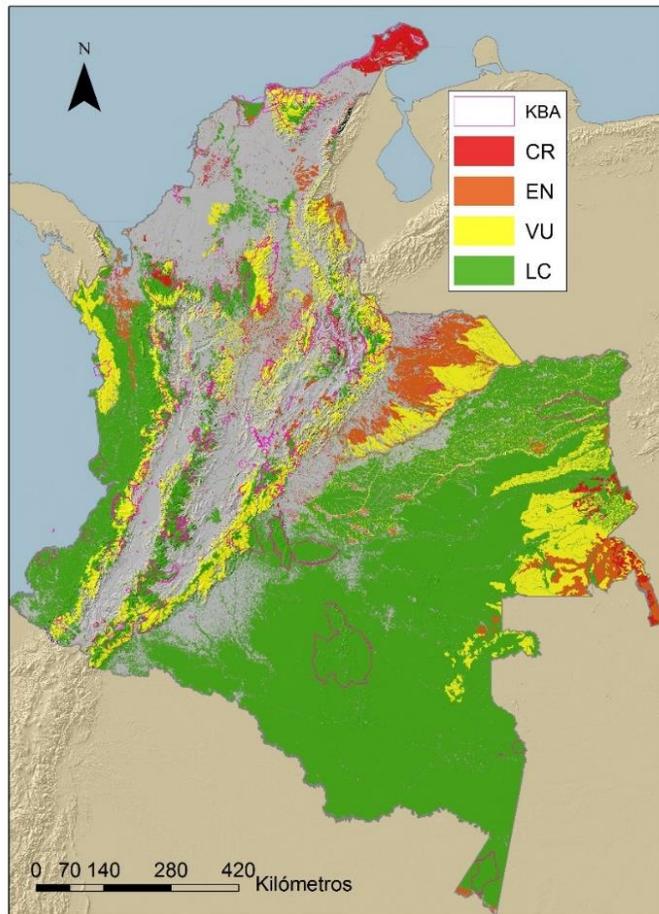


Figura 33. Representatividad de las categorías de amenaza dentro de las Áreas clave de Biodiversidad (KBA). Fuente: BirdLife International, 2016.

Por otra parte Colombia tiene 8 áreas categorizadas como Patrimonio de la Humanidad (WHS), entre las cuales están incluidas 2 áreas naturales y 6 áreas culturales. Las áreas naturales son el Parque Nacional Natural Los Katíos y Santuario de Flora y Fauna Malpelo. Las áreas culturales son: el paisaje cultural cafetero, el centro histórico de Santa Cruz de Mompox, el Parque Natural Arqueológico de Tierradentro, El Puerto, Muralla y el grupo de monumentos de la Ciudad de Cartagena, El sistema de rutas de los andes Qhapaq Ñan y el Parque Arqueológico San Agustín.

La representatividad de las categorías de amenaza dentro de las Áreas naturales de patrimonio de la humanidad no es significativo. Tan solo hay un área natural que tiene representación en ecosistemas terrestres. Dentro de la PNN Los Katíos se encuentran ecosistemas con un estado EN, VU y LC (Figura 34).

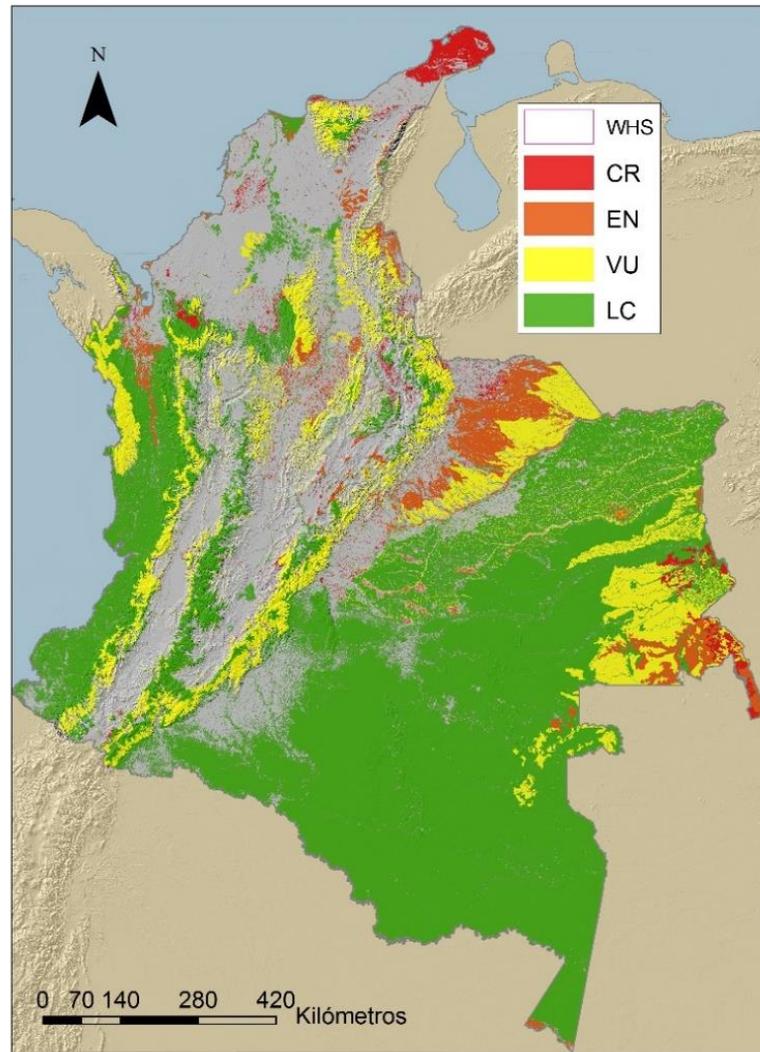


Figura 34. Representatividad de las categorías de amenaza dentro de los sitios naturales de patrimonio de la Humanidad de Colombia. *Fuente: UNESCO, 2006.*

4.2 Relación entre la lista roja de ecosistemas (RLE) y la lista roja de especies (RLI)³

El marco de la Lista Roja se puede aplicar a dos niveles complementarios de biodiversidad: especies y ecosistemas. A partir de este esquema, surge la pregunta de cuánto coincide o se complementan cada uno en la evaluación de riesgo de biodiversidad en un área específica.

Para tal fin, se utilizaron los mapas de expertos de la IUCN de 2.638 vertebrados distribuidos en Colombia y la categoría de riesgo asignada para cada especie. Después se identificó la presencia de cada especie y de cada ecosistema del mapa de ecosistemas amenazados de Colombia. Después de esto, se calculó el Índice de la Lista Roja (RLI) utilizando la ecuación (Butchart et al., 2007):

$$RLI(e) = 1 - \frac{\sum_S W_{c(s)}}{W_{EX}N}$$

Donde **S** es el conjunto de especies en el ecosistema **e**, **W_{c(t,s)}** es el peso asignado para el riesgo de extinción para las especies **s**, **W_{EX}** es la categoría de amenaza **EX**, y **N** el número total de especies. El peso para cada categoría fue: EX=5, CR=4, EN=3, VU=2, NT=1, LC=0. El valor de ILR varía entre 0 (todas las especies están extintas) y 1 (todas las especies están en preocupación menor).

También se calculó el índice de área ponderada (**RLI_w**) conforme al área ocupada por cada especie en cada ecosistema. Esto da más peso a las especies que ocupan grandes áreas del ecosistema:

$$RLI_w(e) = 1 - \frac{\sum_S W_{c(s)} \frac{A_{s(e)}}{A_e}}{W_{EX} \sum_s \frac{A_{s(e)}}{A_e}}$$

Donde **A_{s(e)}** es el área ocupada por las especies **s** en el ecosistema, y **A_e** es el área del ecosistema **e**. Esta ecuación se reduce a la anterior en cuanto a que todas las especies ocupan todos los ecosistemas donde ocurren.

Los resultados del análisis para todos los RLI muestran una tendencia general positiva entre la RLI y la RLE. Los ecosistemas en peligro crítico (CR) tienen en los dos análisis, bajos valores de RLI, indicando altas concentraciones de especies amenazadas (Figura 35). Sin embargo, el ranking de categoría de RLE no concuerda totalmente con la RLI. Por ejemplo, la mediana de la

³ Con Jorge Velásquez (Instituto Alexander von Humboldt).

RLI de ecosistemas amenazados (EN) es mayor que la mediana para ecosistemas vulnerables (VU), y debería ser baja (aunque la categoría tiene mayor dispersión) para ser consistente a la RLI.

Para el caso del cálculo con la ponderación por área (Figura 36), aunque los ecosistemas críticos (CR) muestran el RLI menor que indica los mayores niveles de concentración de especies amenazadas, las siguientes 3 categorías muestran resultados inversos.

Se podría continuar este análisis realizando el cruce de la RLI contra sub-criterios específicos de la RLE, o calculando la relación para grupos taxonómicos específicos.

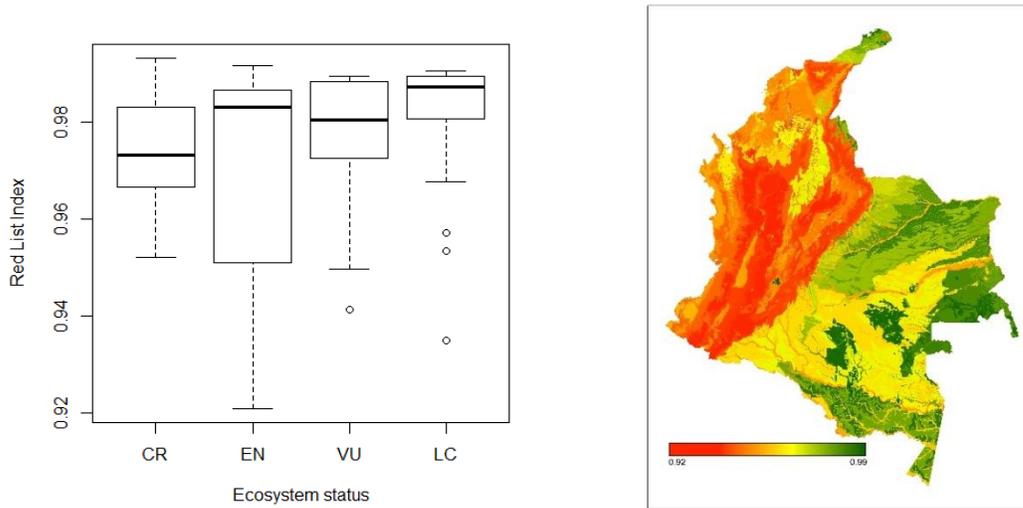


Figura 35. Relación del Índice de la lista roja con las categorías de la Lista Roja de Ecosistemas.

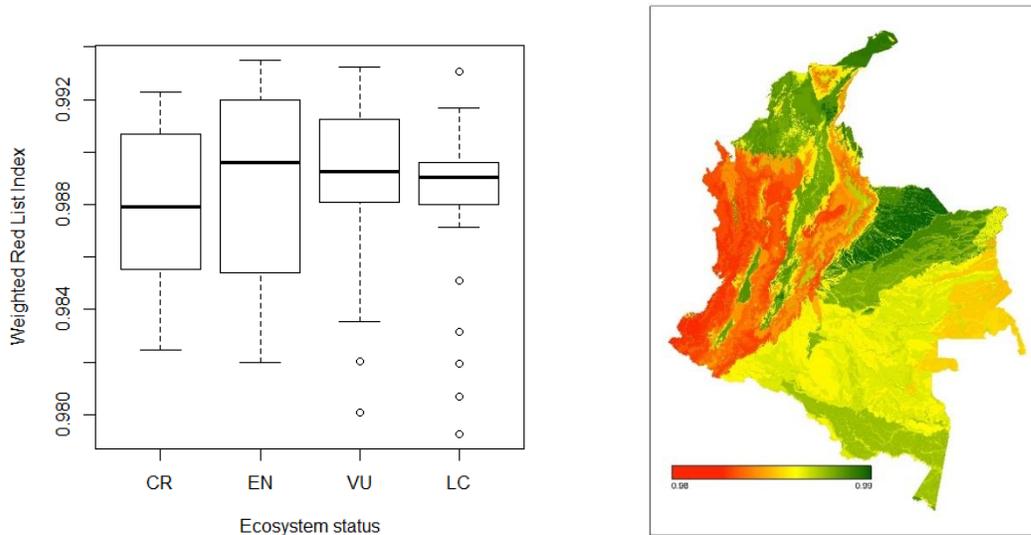


Figura 36. Relación de *RLI_w* con las categorías de RLE

4.3 Identificación de prioridades para restauración

La integración de la ecología de la restauración a la conservación de los ecosistemas permite mitigar los daños causados por las actividades antrópicas a los ecosistemas y comunidades. La restauración de ecosistemas, pensada en su articulación a los procesos de conservación de la biodiversidad, requiere conocer el referente de los ecosistemas potenciales u originales que ocupaban las áreas hoy transformadas. También requiere conocer el nivel de representatividad de los ecosistemas actuales remanentes frente a su nivel de riesgo de colapso.

Para este propósito la evaluación de la lista roja de ecosistemas es un insumo útil. Permite identificar el nivel de riesgo actual de los ecosistemas, y la ubicación de las áreas de ellos que ha desaparecido. En principio la restauración debería tener como uno de los criterios importantes para enfocar la selección de áreas, aquellas que presentan niveles de alto riesgo. Así por ejemplo, en la Figura 37 se muestra la ubicación de las áreas transformadas de los ecosistemas catalogados como en estado CR y EN, son un criterio importante para enfocar los procesos de restauración. El mapa muestra que las mayores áreas de ecosistemas amenazados por los procesos de transformación y serían aquellas con mayor prioridad de ser restauradas, están concentradas en la región Caribe y las zonas intra-zonales de los Andes.

Las áreas totales de ecosistemas CR y EN que han desaparecido suman más de 24 millones de hectáreas (Figura 37a; Tabla 15). Un primer criterio para darle un mayor foco de prioridad a las áreas a ser restauradas, es el concerniente al nivel de productividad de los usos actuales. A este respecto Zuluaga et al. (2017) elaboró un análisis de los sistemas ganaderos de baja productividad, que si se aplica en este contexto reduce el área a algo más de 6 millones de hectáreas, equivalentes a un 25% el área total de CR y EN. Seleccionar las áreas que cumplen los requisitos, van a permitir que ecosistemas como los de alta montaña y el bosque seco tropical, puedan en unos años aumentar su área de distribución.

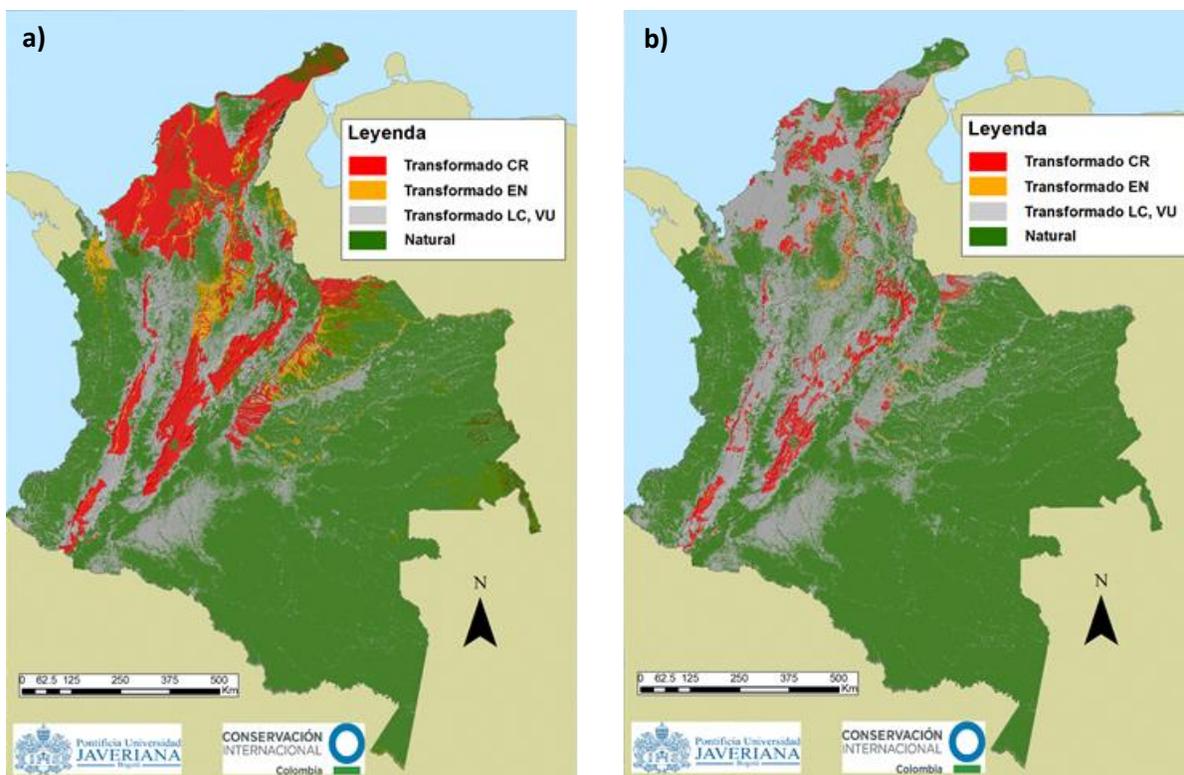


Figura 37. Identificación de áreas prioritarias de restauración en zonas transformadas de Colombia (a) área total disponible; b) área bajo sistemas ganaderos improductivos según Zuluaga et al. (2017).

Tabla 15. Áreas de ecosistemas transformados a ser restaurados: A) total (Ver Figura 37a); B) correspondientes a áreas con usos de baja productividad (Ver Figura 37b).

	A	B
CR	17,002,394	5,187,213
EN	7,940,213	857,231
Total	24,942,606	6,041,319

Si se analiza la presencia de estas áreas en términos de la jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales, se evidencia que las que presentan una mayor demanda de son las que tienen en su jurisdicción los bosques secos tropicales del valle del Magdalena y el Caribe, como CORTOLIMA, CAM, CORPAMAG, COPRPCESAR y CORPOGUAJIRA. También aparecen las áreas de bosques secos y arbustales de los valles andinos de CORPOBOYACÁ y CAR (Tabla 16).

Tabla 16. Áreas de restauración según jurisdicciones de las CARs.

CAR	TOTAL		IMPROD	
	CR	EN	CR	EN
CORTOLIMA	1,042,356	56	527,169	19
CAM	601,900	0	457,925	0
CORPAMAG	1,416,250	157,350	443,031	23,519
CORPOCESAR	1,147,038	283,450	420,150	36,275
CORPOGUAJI	1,820,456	24,531	334,100	4,219
CORPOBOYAC	527,625	142,863	313,063	13,225
CAR	831,756	104,575	294,750	11,294
CORANTIOQU	586,944	412,663	264,125	146,750
CAS	669,438	561,488	254,006	30,350
CORPORINOQ	1,039,438	2,974,475	251,494	135,456
CARDIQUE	591,556	24,338	232,556	6,475
CRC	286,763	21,938	200,406	13,369
CSB	537,931	353,469	195,900	118,788
CVC	525,256	41,025	157,338	3,788
CORMACAREN	612,013	327,750	126,994	80,031
CVS	1,790,900	139,056	101,419	8,975
CRA	274,063	22,531	68,356	6
CORPONOR	227,556	403,125	63,119	118,500
CDMB	162,669	25,344	57,825	3,956
CARSUCRE	479,581	17,594	50,888	0
CORPOCHIVO	68,763	21,225	37,956	2,888
CORPOMOJAN	302,119	74,069	34,588	3,956
EPA	48,631	7,625	31,356	788
SDA	63,800	7,800	19,831	2,331
CORPOCALDA	126,238	369	18,506	0
DAGMA	33,725	113	12,606	0
CORPOGUAVI	48,963	15,763	11,119	919
CARDER	23,619	569	7,281	0
CDA	513,500	942,481	4,544	744
CORPOAMAZO	4,106	65,144	4,044	5,569
BAMA	13,375	344	3,356	225
CORPOURABA	314,881	262,994	3,213	7,944
CORNARE	7,263	41,531	306	0
CRQ	663	0	0	0
CODECHOCO	0	462,425	0	76,794
AMVAUA	0	0	0	0

4.4 Implementación de la LRE en la plataforma virtual *Tremarctos-Colombia_3.0*⁴

Un campo importante para aplicar evaluaciones como la LRE, tiene que ver con la visualización de los impactos de proyectos de infraestructura, expansión agrícola o extracción de recursos, que permitan adelantar procesos de planificación del territorio. Las limitaciones para la toma de decisiones, debido a la falta de un acceso fácil y rápido a información relevante para evaluar proyectos de desarrollo en el nivel de pre-factibilidad, llevaron a Conservación Internacional Colombia-CI a desarrollar durante los últimos 10 años la plataforma *Tremarctos Colombia* ©. Esta plataforma constituye un sistema de alertas tempranas para asistir a los tomadores de decisiones públicos y privados, por medio de la cual se visualizan y analizan los posibles impactos ambientales y socioeconómicos de un proyecto. Un objetivo importante del sistema es salvaguardar objetivos de conservación, en particular, aquellas áreas importantes que aún se encuentran por fuera del Sistema de Áreas Protegidas de Colombia.

La plataforma de *Tremarctos Colombia-3.0* © (Figura 38) actualmente provee una serie de mapas en línea, estandarizados y actualizados, con información acerca de las Áreas Protegidas Nacionales incluyendo los Parques Nacionales y los Territorios Étnicos, así como listas y mapas de especies amenazadas (CR, EN y VU), endémicas y migratorias, y servicios ecosistémicos (Calidad de hábitat, paisajes escénicos, balance hídrico, entre otros). La inclusión de la LRE es un complemento importante a la matriz de datos disponible en *Tremarctos Colombia-3.0* ©.

Ya está disponible el acceso a la LRE a través de la plataforma *Tremarctos Colombia-3.0* © en la dirección www.tremarctoscolombia.org (Figura 39). Allí, la LRE permite realizar análisis en línea de los impactos de proyectos de desarrollo específicos sobre los ecosistemas amenazados, o también como una herramienta para la planificación de otros procesos territoriales de instituciones gubernamentales y ONGs.

La figura 39 muestra las convenciones y los procedimientos que permiten generar el sistema de alertas tempranas. El análisis es realizado introduciendo datos de proyectos en formato Shapefile, GPX, sistema de coordenadas o con geometría dibujada a mano alzada. Las figuras 40 y 41 muestran ejemplos de la aplicación de la capa de LRE para visualizar y cuantificar los impactos potenciales del desarrollo de nuevas infraestructuras viales, usando una zona de amortiguación convencional de 50m a ambos lados de las vías.

⁴ Elaborado por Tito Muto, Conservación Internacional - Colombia

La figura 40 presenta el “Proyecto de infraestructura vial 4G Arauca-Tame-Yopal”, el cual tendría impacto en ecosistemas de las categorías CR (269Ha), EN (446Ha) y VU (143Ha). Por su parte, la figura 41 muestra el impacto del “Proyecto de infraestructura vial 4G Cúcuta-Pamplona-Sogamoso”, el cual afectaría la extensión de los ecosistemas que se encuentran dentro de las categorías CR (186Ha), EN (25Ha) y VU (465Ha).

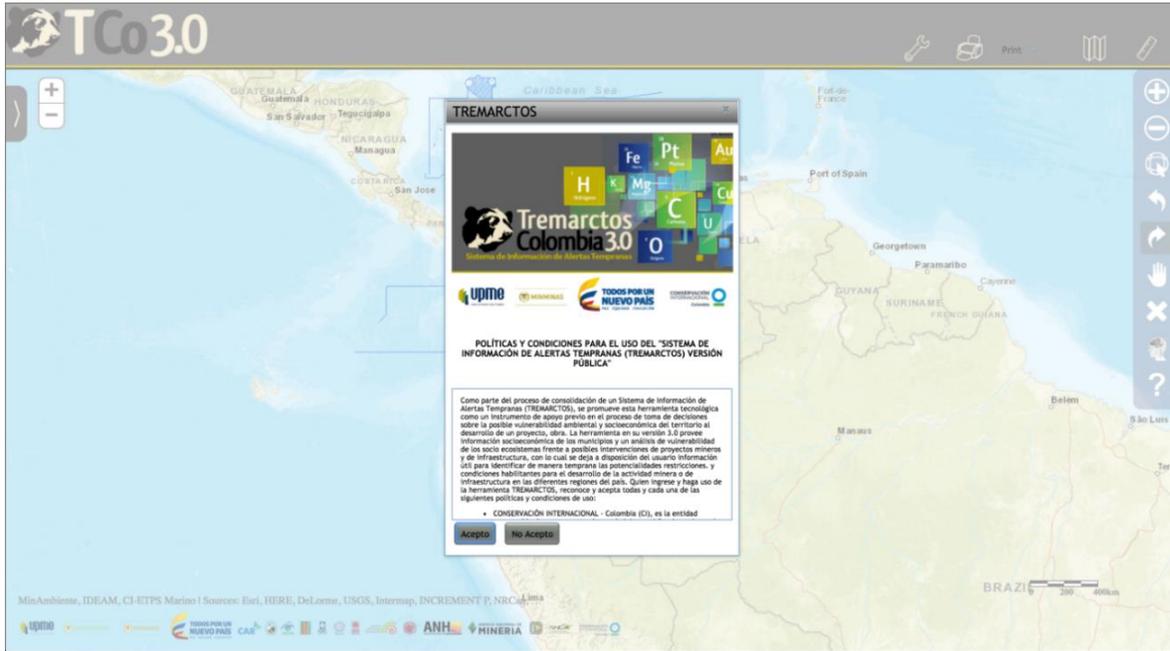


Figura 38. Portal Web de Tremarctos Colombia-3.0, para el análisis en línea de alertas tempranas de proyectos de desarrollo.

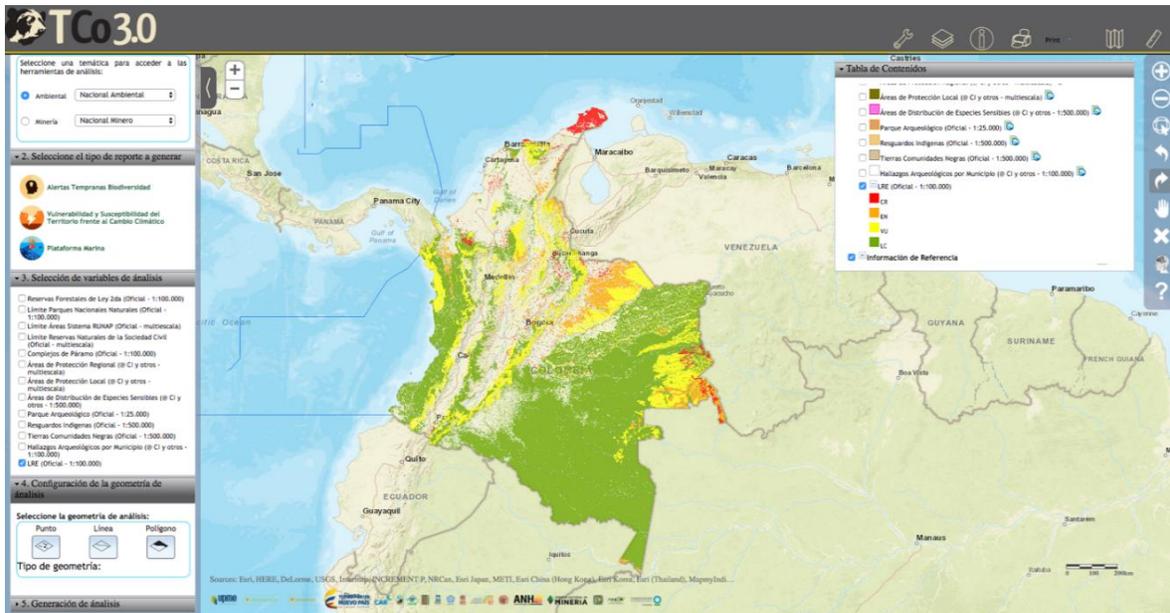


Figura 39. Visualización de la LRE en la plataforma web de Tremarctos Colombia-3.0.

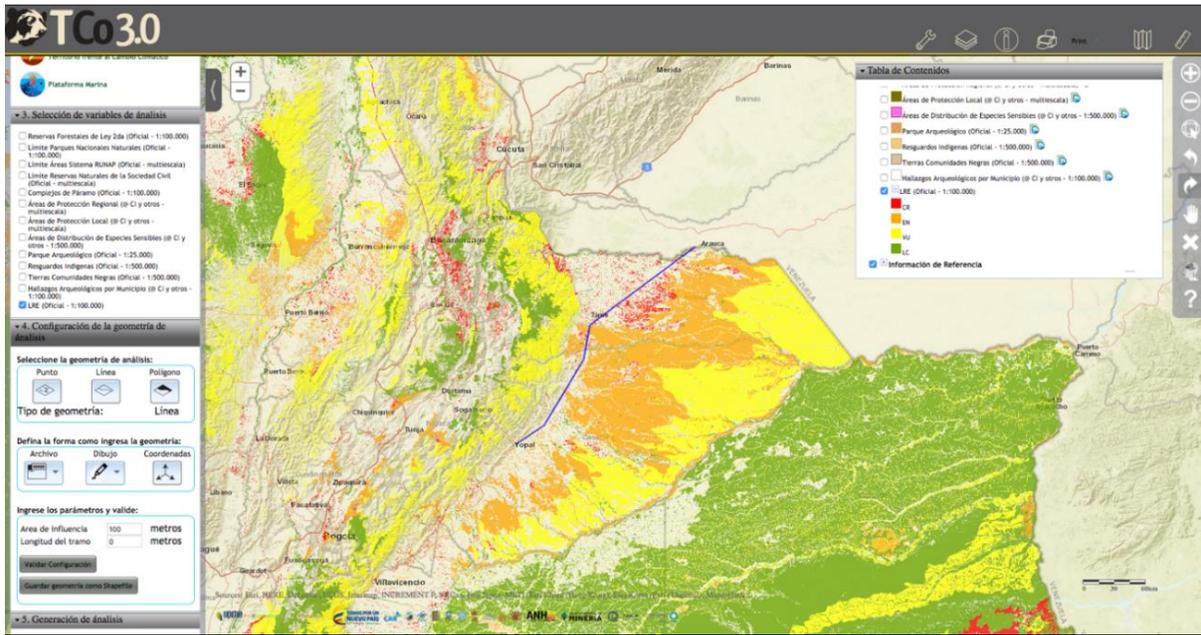


Figura 40. Visualización de la afectación a ecosistemas amenazados identificados en la LRE, por el proyecto de infraestructura vial 4G Arauca-Tame-Yopal (ANI 2017).

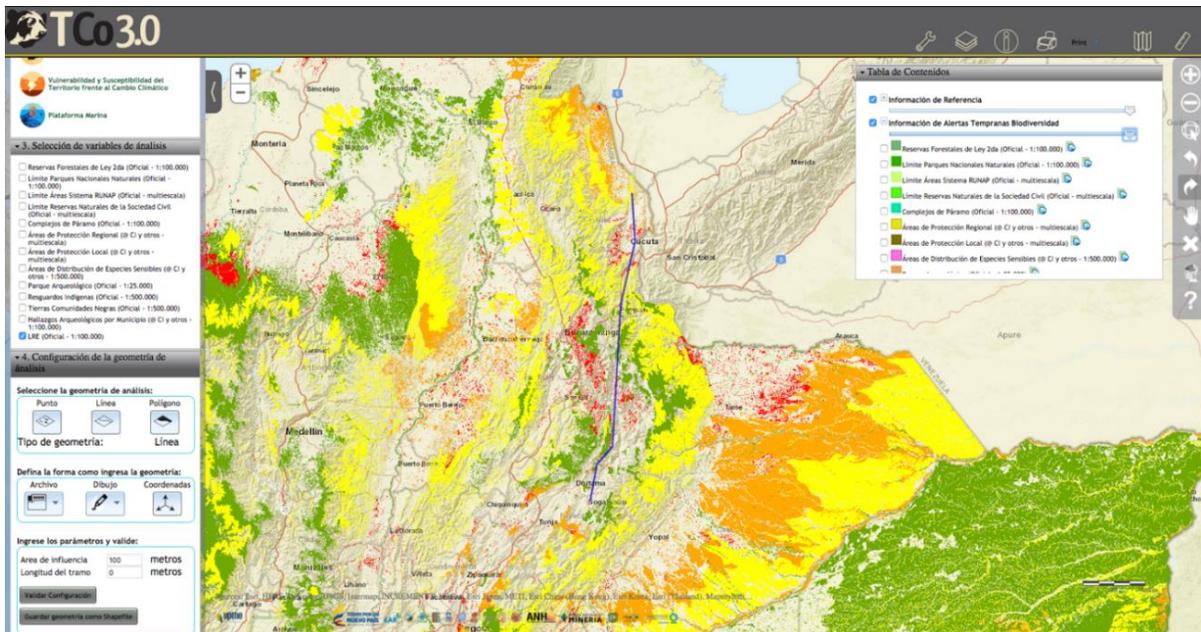


Figura 41. Visualización de la afectación a ecosistemas amenazados identificados en la LRE, por el proyecto de infraestructura vial 4G Cúcuta-Pamplona-Sogamoso (ANI 2017).

La figura 42 muestra el efecto potencial de una concesión minera de oro en el noroccidente del país, específicamente en el departamento de Antioquia, con un área total de 5,846 Ha, la cual afectaría áreas importantes de ecosistemas amenazados en las categorías CR (1,993Ha) y EN (711Ha).



Figura 42. Visualización de la afectación de ecosistemas amenazados identificados en la LRE, por una concesión de minería de oro.

5. DISCUSIÓN

5.1 Generalidades

Para un país que se precia de tener un patrimonio natural especialmente valioso como Colombia, el conocimiento del impacto humano sobre este y sus consecuencias es muy relevante. Sin desconocer lo que se sabe hasta ahora, la evaluación de la LRE proporciona una nueva visión complementaria que permite dimensionar y entender el impacto de las transformaciones humanas sobre los sistemas ecológicos en sus diferentes escalas espaciales y temporales, y así ampliar la base informática que permitirá evaluar el estado de los ecosistemas e implementar una gestión y conservación más efectivas de este patrimonio.

La primera aplicación del esquema de Lista Roja de Ecosistemas en Colombia corroboró los conocimientos generales acerca de los impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas colombianos contenidos en estudios previos como Chaves y Arango (1998), Etter (1998), Armenteras et al. (2003), Chaves y Santamaría (2006), IDEAM (2007), Etter et al. (2011a) y Bello et al. (2014) entre muchos, que señalan una concentración e intensidad de impactos en los ecosistemas de las regiones Andina y Caribe. Además, añadió información valiosa al identificar amenazas y evaluación a nivel de ecosistemas específicos.

En general, en la primera versión hubo una buena correspondencia entre la calificación de la evaluación y el índice de la Huella espacial humana (Etter et al. 2011a), pues la mayoría de los ecosistemas calificados como CR tenían índices superiores a 50. No obstante hubo casos donde esto no se cumplió, lo que permitió evaluar la posibilidad de complementar el análisis de amenaza de la LRE. Concretamente hubo ecosistemas como P_ZBH-S11 (sabanas del Caribe) que mostraron una huella alta a pesar de tener una proporción remanente relativamente alta.

Por su parte, la segunda aplicación del esquema de Lista Roja de Ecosistemas en Colombia, enfocada en la ampliación y ajuste metodológico del criterio C y D, permitió considerar procesos de degradación de los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas. Para el caso del criterio D, se consideraron relaciones mutualistas de interacción planta-animal, como lo son la dispersión de semillas y la polinización, se amplió la base de datos de relaciones que se tenía en la primera versión y además se realizó el modelamiento de las relaciones para presente y en el escenario de cambio climático RCP85 proyectado a 2050, evaluando los cambios en área y número de relaciones. Respecto al criterio C, el nuevo enfoque

metodológico evaluó los cambios (mensuales y anuales) en la disponibilidad hídrica a partir de los valores de CC respecto a precipitación media histórica.

Si bien la primera versión señala una concentración de impactos sobre los ecosistemas de las regiones Andina y Caribe, esta versión 2.0 complementa el análisis y arroja datos importantes sobre los cambios históricos y previsibles en el futuro por cambio climático, sobre los procesos bióticos y abióticos en otras regiones como Orinoquía, Amazonía y el valle del Magdalena.

Siendo esta la segunda aproximación a la evaluación del riesgo de colapso de los ecosistemas, y a pesar de contener una ampliación metodológica, la aplicación y validación de la LRE revela retos relacionados con los requerimientos de información que la metodología impone, pues los vacíos de información resultan en aproximaciones con niveles de confiabilidad bajos. Otro reto tiene que ver con la posibilidad de una aplicación adecuada debido a las limitaciones en el conocimiento de la estructura y el funcionamiento de los objetos de evaluación, especialmente para la evaluación de los criterios C y D que reflejan la complejidad misma de los ecosistemas.

En relación con la aplicación de realizada en otros países (Crespin y Simonetti 2015; Rodríguez, Rojas y Giraldo 2010; Lindgaard y Henriksen 2011) la aplicación al caso colombiano presenta las características de ofrecer una visión nacional basada en una cartografía homogénea con series multi-temporales de transformación ajustadas.

5.2 Limitaciones

Este estudio se realizó a nivel nacional con una resolución espacial de la cartografía de los ecosistemas impone unas limitaciones para su utilización a nivel local, por el nivel de detalle que permite visualizar.

Por otra parte, como los ecosistemas delimitados son en realidad mosaicos de asociaciones o consociaciones de unidades menores, que no están delimitadas, este estudio no permite valorar el efecto de la transformación o el nivel de amenaza para los ecosistemas componentes del mosaico en cuestión.

La aplicación de los Criterios C y D de manera uniforme para el país es a la fecha aún limitada por el nivel de información disponible, esto es en particular para la información del pasado (C1 y C3). La posibilidad de aplicar estos criterios de manera amplia y con una confiabilidad alta requiere un trabajo conceptual e investigativo para identificar factores funcionalmente críticos, así como para incrementar el nivel de información sobre ellos.

Particularmente, la información sobre la degradación de la condición de degradación los suelos o de las aguas freáticas aplicables al criterio C, y que son importantes factores de colapso de muchos ecosistemas, no están bien documentados. Estudios recientes muestran como el efecto de los cambios climáticos sobre la severidad de los eventos extremos de sequía varía en ecosistemas de zonas climáticas diferentes (Zhou et al. 2015), y en Colombia no hay registro o conocimiento amplio sobre la variabilidad tanto temporal como espacial de estos datos. De igual forma, de acuerdo al enfoque metodológico usado en esta nueva versión, la limitación tiene que ver con la disponibilidad de datos para realizar interpolaciones, especialmente en las regiones del Pacífico, Amazonía y Orinoquía, en donde la extensión de la red de monitoreo hidroclimatológico del IDEAM no es suficiente.

Para aspectos relacionados con procesos bióticos como los inicialmente analizados (dispersión, polinización), se requiere de un trabajo adicional para esquematizar el complejo de relaciones que ocurren al interior y entre los ecosistemas, para corroborar la ocurrencia de procesos de interacción en el espacio, así como para considerar aspectos como la sensibilidad y capacidad adaptativa de las especies en la exposición a cambios climáticos para los procesos de modelamiento. Hasta ahora, la aplicación del Criterio D tuvo como representantes de procesos bióticos la dispersión y polinización, pero existen otras relaciones que modelan el funcionamiento y las dinámicas de los ecosistemas (predación, competencia, interacciones recurso-consumidor, parasitismo, entre otras) y que de ser incluidas aportarían información valiosa para la evaluación final.

Esta segunda versión de la implementación de la LRE, intenta corregir gradualmente la subjetividad intrínseca sobre las variables que se utilizan para la evaluación (Boitani et al 2014). Sin embargo aún está la oportunidad de involucrar nuevos enfoques e información complementaria a la evaluación de nivel de riesgo de colapso de los ecosistemas.

5.3 Programa de actualización y monitoreo propuesto de la RLE colombiana

Uno de los propósitos de las herramientas como el RLE es poder influir en la toma de decisiones para el uso del suelo y la planificación de la conservación. Debido a que el riesgo de entidades dinámicas como los ecosistemas cambia con el tiempo, esto necesita ser actualizado regularmente.

Dos razones principales para actualizar son, en primer lugar, que las amenazas que crean el riesgo cambian con el tiempo; y segundo porque la disponibilidad de datos mejora la

comprensión de las amenazas y permite una mejora en la evaluación de riesgos. Se sugieren dos procesos principales de actualización:

a) Una actualización **nacional cada 5 años**.

Además de actualizar con nuevos datos de cobertura y uso del suelo, y amenazas continuas, y debería incluir específicamente una actualización de la evaluación de los criterios C y D, posiblemente agregando nuevos procesos a la evaluación general, o evaluaciones específicas para ecosistemas más conocidos. Por ejemplo, utilizando los nuevos modelos IPCC de CC; o vincular los cambios en la disponibilidad de agua de CC con las comunicaciones nacionales. Es urgente extender el proceso de evaluación a los ecosistemas marinos. Además, establezca un vínculo entre las pérdidas de los procesos con Ecosystem Services. La actualización debe realizarse preferiblemente bajo la coordinación de instituciones nacionales como el Instituto Alexander von Humboldt para la Investigación de la Biodiversidad, con el apoyo de Universidades y ONG. También instituciones locales / regionales como el Instituto SINCHI en la Amazonía.

b) Una actualización **regional o local** para los **ecosistemas CR y EN** para proceso de monitoreo más detallado y específico **cada 2 años**.

Esto debería incluir un mapeo más detallado así como una actualización de las amenazas y los indicadores de degradación del ecosistema de especies, suelos, biomasa / carbono, entre otros. Por ejemplo, ecosistemas como la parte central de la Cordillera Oriental, la región de la Orinoquia o los departamentos de Cesar y Magdalena.

Será importante presupuestar estos procesos cuidadosamente para garantizar su éxito. Una institución del gobierno nacional, presumiblemente el Instituto Alexander von Humboldt para la Investigación de la Biodiversidad, debería coordinar el proceso general. Sin embargo, deberá garantizar la participación de otros institutos del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINA) como IDEAM, SINCHI, INVEMAR y el Instituto Geográfico Nacional IGAC. También las múltiples instituciones académicas y las ONG que pueden proporcionar aportes importantes al proceso.

6. CONCLUSIONES

La aplicación de la Lista Roja de Ecosistemas en el caso colombiano proporciona un nivel de conocimiento ampliado del estado de riesgo de los ecosistemas del país. El estudio ratifica que el proceso de deterioro ambiental es real, e identifica algunas áreas críticas al respecto. En particular, permite calificar con criterios objetivos adicionales, los niveles de amenaza de los diferentes ecosistemas, e identificar áreas geográficas que ameritan una atención rápida en términos de gestión ambiental, así como identificar áreas que requieren un mayor conocimiento. Esto puede convertirse en un soporte para la construcción y evaluación de escenarios alternativos de uso de la tierra de futuro, y ayudará a mejorar el diálogo entre los generadores de la información y los tomadores de decisiones.

En la medida que la interacción de las sociedades humanas y su entorno biofísico son dinámicos, debido entre otros a las demandas cambiantes de las sociedades, estos procesos de evaluación deberían convertirse en procesos de seguimiento permanente, para apoyar la gestión. La Lista Roja de Ecosistemas con su marco espacialmente explícito y multi-temporal, es un camino prometedor para lograr este objetivo.

7. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. 2017. Listado de Proyectos de carreteras. Revisado el 04 de noviembre de 2017 de <http://www.ani.gov.co/modo-carreteras>.
- Armenteras, D., Gast, F. and H. Villareal. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113 (2): 245-256.
- Bello, J.C., Báez, M., Gómez, M.F., Orrego, O. y L. Nägele (Eds.). 2014. Biodiversidad 2014. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- BirdLife International. 2016. Mapa de Áreas clave de Biodiversidad (KBA). Datos suministrados por Rebecca Miller (UICN).
- Boitani, L., Mace, G. M. and C. Rondinini. 2014. Challenging the scientific foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *Conservation Letters* (doi = 10.1111/conl.12111).
- Butchart, S.H.M., Akçakaya, H. R., Chanson, J., Baillie, J.E.M., Collen, B., Quader, S., Turner, W.R., Amin, R., Stuart, S.N., Hilton-Taylor, C. 2007. Improvements to the Red List Index. *PLoS ONE* 2(1): e140.
- Campbell, N.A. 1996. Biology, 4th Edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California.
- CBD - Convention of Biological Diversity. 2014. <https://www.cbd.int/cop12/>
- Chaves, M.E. y N. Arango (Eds.). 1998. Informe Nacional Sobre el Estado de la Biodiversidad en Colombia-1997. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Chaves, M.E., y M. Santamaría. 2006. Informe Nacional sobre el Avance en el Conocimiento y la Información de la Biodiversidad 1998-2004. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- COLOMBIA. 1991. Constitución Política. Legislación. Bogotá
- COLOMBIA. 1993. Congreso de la República. Ley 99 de 1993.
- COLOMBIA. 1997. Congreso de la República. Ley 388 de 1997.
- COLOMBIA. 2000. Plan Nacional de Desarrollo Forestal –PNDF. Gobierno de Colombia. 71 pp.
- COLOMBIA. 2001. Congreso de la República. Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos.
- COLOMBIA. 2002a. Congreso de la República. Resolución 584.
- COLOMBIA. 2002b. Programa nacional de uso sostenible, manejo y conservación de ecosistemas de manglar. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente.

- COLOMBIA. 2002c. Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente.
- COLOMBIA, 2004. Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente.
- COLOMBIA. 2007. Congreso de la República. Decreto 3600 de 2007.
- COLOMBIA. 2012. Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE).
- COLOMBIA. 2014. Congreso de la República. Decreto 2041 de 2014.
- Crespin, S. J. and J. A. Simonetti. 2015. Predicting ecosystem collapse: Spatial factors that influence risks to tropical ecosystems. *Austral Ecology* (in press).
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2008. Estadísticas Nacionales. <http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php>. (Revisado en Noviembre 2012).
- ESRI. (2014). ArcGIS. Redlands.
- Etter, A. 1998. Mapa General de Ecosistemas de Colombia Escala 1: 2'000.000. IAvH y PNUD, Bogotá. (ISBN 958-96529-1-3).
- Etter, A., C. McAlpine, S. Phinn, K. Wilson and H. Possingham. 2006a. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114 (2006): 369-386.
- Etter, A., C. McAlpine, S. Phinn, D. Pullar and H. Possingham. 2006b. Characterizing a tropical deforestation wave: the Caquetá colonization front in the Colombian Amazon. *Global Change Biology*, 12: 1409-1420.
- Etter, A., C. McAlpine and H. Possingham. 2008. A historical analysis of the spatial and temporal drivers of landscape change in Colombia since 1500. *Annals of the American Association of Geographers*, 98 (1): 2-23.
- Etter, A., C. McAlpine, L. Seabrook and K. Wilson. 2011a. Incorporating temporality and biophysical vulnerability to quantify the human spatial footprint on ecosystems. *Biological Conservation*, 144 (5): 1585-1594.
- Etter, A., M. Romero and A. Sarmiento. 2011b. Land use change (1970-2007) and the Carbon emissions in the Colombian Llanos. In: Hill, M. and N.P. Hanan (Eds.). *Ecosystem Function in Savannas: measurement and modeling at landscape to global scales*, Chapter 20, pp. 383-402. Boca Raton: Taylor & Francis CRC Press.
- Etter, A. y P.A. Arévalo. 2014. Escenarios futuros de la cobertura vegetal en Colombia. In: Bello, J. C. (Ed.) Biodiversidad 2014: Reporte de estado de la biodiversidad en Colombia. Ficha 210. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Etter, A., Andrade, A., Amaya, P. y P. Arévalo. 2015. *Estado de los Ecosistemas Colombianos 2014: una aplicación de la metodología de Lista Roja de Ecosistemas*.

- Fontúrbel, F. E., Candia, A. B., Malebrán, J., Salazar, D. A., González-Browne, C. and R. Medel. 2015. Meta-analysis of anthropogenic habitat disturbance effects on animal-mediated seed dispersal. *Global Change Biology*, 21(11): 3951-3960.
- Frank, E., Wang, Y., Inglis, S., Holmes, G. and I. H. Witten. (1998). Using model trees for classification. *Machine Learning*, 32(1), 63-76.
- González J.J., Etter A.A., Sarmiento A.H., Orrego S.A., Ramírez C., Cabrera E., Vargas D., Galindo G., García M.C. y M.F. Ordoñez. 2011. Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. Bogotá D.C., Colombia: IDEAM.
- Hernández, J., Ortiz, R., Walschburger, T. y A. Hurtado. 1992. Estado de la biodiversidad en Colombia (State of biodiversity in Colombia). México DF: CYTED.
- IDEAM. 2014. Mapas bosques de Colombia. (<https://www.siac.gov.co/>)
- IDEAM. 2017. Datos estaciones meteorológicas. (<https://www.datos.gov.co>)
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi e IIAP. 2007. Mapa de Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá D.C.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLERÍA. 2015. *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones - Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC-. 2014. Mapa de geopedología del territorio Colombiano. Escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC-. 2015. Mapa de Resguardos Indígenas. Revisado el 20 de marzo de 2017 de <http://sigotn.igac.gov.co>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC-. 2015a. Mapa de Tierras de las Comunidades Negras. Revisado el 20 de marzo de 2017 de <http://sigotn.igac.gov.co>.
- International Union for Conservation of Nature. 2012. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.
- International Union for Conservation of Nature. 2014. CEM-SSC Red List of Ecosystems Workshop Report. Cambridge, United Kingdom, 22-23 January 2014. Commission on Ecosystem Management and Species Survival Commission. Gland, Switzerland, UK: IUCN.
- Josep G., C., Corinne Le, Q., Michael R., R., Christopher B., F., Erik T., B., Philippe, C., & ... Gregg, M. 2007. Contributions to Accelerating Atmospheric CO₂ Growth from Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, (47), 18866. doi:10.1073/pnas.0702737104

- Keith D.A., Rodríguez J.P., Rodríguez-Clark K.M., Aapala K., Alonso A., Asmussen M., Bachman S., Bassett A., Barrow E.G., Benson J.S., Bishop M.J., Bonifacio R., Brooks T.M., Burgman M.A., Comer P., Comín F.A., Essl F., Faber-Langendoen D., Fairweather P.G., Holdaway R.J., Jennings M., Kingsford R.T., Lester R.E., Mac Nally R., McCarthy M.A., Moat J., Nicholson E., Oliveira-Miranda M.A., Pisanu P., Poulin B., Riecken U., Spalding M.D. and S. Zambrano-Martínez. 2013. Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *PLoS ONE*, 8(5): e62111.
- King C., Ballantyne G. and P. Willmer. 2013. Why flower visitation is a poor proxy for pollination: Measuring single-visit pollen deposition, with implications for pollination networks and conservation. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(9): 811-818.
- Kuhn M. and K. Johnson. 2013. Applied Predictive Modeling. Springer.
- Leadley, P.W., Krug, C.B., Alkemade, R., Pereira, H.M., Sumaila U.R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L.S.L, van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S.R. and P.J Mumby. 2014. Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An Assessment of Biodiversity Trends, Policy Scenarios and Key Actions. (Technical Series 78, 500 pp.). Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Lindgaard A. and S. Henriksen. 2011. *The 2011 Norwegian Red List for Ecosystems and Habitat Types*. Trondheim: Norwegian Biodiversity Information Centre.
- (MEA) Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC.: Island Press.
- Morales, M. 2007. Representatividad ecosistémica del Sistema de Parques Nacionales Naturales en los Andes colombianos. 65-73 pp. En Armenteras, D., & Rodríguez, N. (Eds) 2007. Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 174 pp.
- Morales-Castilla I., Matias M., Gravel D. and M. Araújo. 2015. Inferring biotic interactions from proxies. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(6): 347-356.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853–858.
- Neuschulz, E. L., Mueller, T., Schleuning, M. and K. Böhning-Gaese. 2016. Pollination and seed dispersal are the most threatened processes of plant regeneration. *Scientific Reports*, 6: 1-6.
- Norris, K. 2008. Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation Letters* 1(1):2-11.
- Noss, R. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4 (4): 355–364.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. 2006. Mapa de los Sitios Patrimonio Mundial o Patrimonio de la Humanidad. Revisado el 8 de noviembre de 2017 de <http://whc.unesco.org/en/list/>.

- Orme, C.D.L., Davies, R.G., Burgess, M., Eigenbrod, F., Pickup, N., Olson, V.A., Webster, A.J., Ding, T.-S., Rasmussen, P.C., Ridgely, R.S., Stattersfield, A.J., Bennett, P.M., Blackburn, T.M., Gaston, K.J. and I.P.F Owens. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 436: 1016–1019.
- Palacio, G. 2001. Naturaleza en disputa: ensayos de historia ambiental de Colombia, 1850-1995. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Phillips S., Anderson R. and R. Shapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4): 231-259.
- Pimm, S., Raven, P., Peterson, A., S ekerciog ˘lu, Ç.H. and P.R. Ehrlich. 2006. Human impacts on the rates of recent, present, and future bird extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103:10941–10946.
- Quinlan, R. 1993. C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann Publishers, <http://www.rulequest.com/see5-unix.html>.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M. y M. Romero. 2004. Ecosistemas de los Andes colombianos. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rodríguez, J.P., Balch, J.K. and K. M. Rodríguez-Clark. 2007. Assessing extinction risk in the absence of species-level data: quantitative criteria for terrestrial ecosystems. *Biodiversity Conservation*, 16: 183-209.
- Rodríguez, J.P., F. Rojas-Suárez y D. Giraldo Hernández (eds.). 2010. Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Caracas, Venezuela: Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela).
- Romero M.H., Maldonado-Ocampo J.A., Bogotá-Gregory J.D., Usma J.S., Umaña-Villaveces A.M., Murillo J.I., Restrepo-Calle S., Álvarez M., Palacios-Lozano M.T., Valbuena M.S., Mejía S.L. Aldana-Domínguez J. y E. Payán. 2009. Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Samuels I. and D. Levey. 2005. Effects of gut passage on seed germination: Do experiments answer the questions they ask? *Funtional Ecology*, 19(2): 365-368.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia- SPNN. (s.f). Mapa de Parques Nacionales Naturales. Revisado el 20 de marzo de 2017 de <https://www.siac.gov.co/>
- Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia- SPNN. 2017. Propuestas de nuevas áreas y ampliaciones de Parques Nacionales Naturales. Revisado el 20 de marzo de 2017 de <https://www.siac.gov.co/>.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia- SPNN. 2017a. Mapa del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP). Revisado el 20 de marzo de 2017 de <https://www.siac.gov.co/>.

- Soares-Filho, B., H. Rodrigues and M. Follador. 2013. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling & Software*, 43: 80-87.
- Soenario, I., Plieger, M., and R. Sluiter. 2010. Optimization of Rainfall Interpolation. De Bilt.
- Tilman, D., Reich P.B. and J.M.H. Knops. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441, 629–632.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -UICN. 2016. Un Estándar Global para la Identificación de Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA), Versión 1.0. Primera edición. Gland, Suiza: UICN.
- United States Department of Agriculture-USDA. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Washington, DC. Handbook Natural Resources Conservation Service Nr.
- Van de Hammen, T. 1998. Plan Ambiental de la cuenca alta del río Bogotá: análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá. 142 pp.
- Walter, H. 1979. Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geo-Biosphere. Second Edition. New York, United States: Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- World Meteorological Organization -WMO. 2011. Guía de Prácticas Climatológicas. Recuperado de https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf.
- Zonneveld, I.S. 1979. Land (scape) Science and Land Evaluation. *ITC-textbook VII-4*, 2nd edition. International Institute for Aerospace Surveys and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands.
- Zhou L., Chen H. and Y. Da. 2015. Stronger warming amplification over drier ecoregions observed since 1979. *Environ. Res. Letters*, 10 (2015): 064012.
- Zuluaga et al. 2017. Modelación de escenarios de la transformación ambiental de la ganadería en Colombia: una aproximación a las escalas nacional, regional y local. En proceso.

8. ANEXOS

Anexo 1. Rutina para la validación del mapa de ecosistemas potenciales en C5.0.

PROTOCOLO DE USO DE C5 para validación del Mapa de Ecosistemas Potenciales

Paulo Arturo Arévalo (parevalo@bu.edu)

Paula Andrea Amaya (p.amaya@javeriana.edu.co)

Andres Etter (aetter@javeriana.edu.co)

©Departamento de Ecología y Territorio, Pontificia Universidad Javeriana.

Para realizar la validación del Mapa de Ecosistemas Potenciales, se implementó un modelo tipo “árbol de decisión” que es una técnica de clasificación utilizada para la predicción de valores numéricos finitos, en cuyo caso se llaman “árboles de clasificación” (Frank et al. 1998). Uno de estos modelos es el C5.0, un algoritmo desarrollado por Quinlan (1993), utilizado para construir árboles de decisión partir de datos de entrenamiento, donde el objetivo es predecir la respuesta de Y a partir de variables independientes X_1, X_2, \dots, X_p , mediante un árbol binario que extrae patrones informativos de los datos.

1. El primer paso consiste en preparar los insumos de entrada:
 - 1.1 Adaptar el shapefile (.shp) de entrada: el mapa debe tener una columna que muestre el código del ecosistema, en nuestro caso es COD, si en ésta columna los códigos no empiezan todos por una letra se sugiere que se cree una columna con una letra que esté antes de cada COD. Si en algún caso el código tiene un backslash (/) quitarlo ya que esto podría generar errores.
 - 1.2 Selección de puntos para cada polígono del mapa para entrenamiento del modelo: Se puede realizar según las opciones a o b que se presentan abajo. La diferencia entre los dos es el número de puntos seleccionados, donde la opción b genera un mayor número de puntos, lo cual influye en la precisión de las predicciones.

Opción a:

- Se crea una columna donde se asigna un número de puntos según el área, con las siguientes asignaciones:
 - <1000 km – 30 puntos
 - 1000 a 10000 – 60 puntos

10000 a 25000 – 90 puntos
 Mayor a 25000 – 120 puntos

En nuestro caso, se asumió que aquellos polígonos con área menor a 0.025 km eran errores por lo que se les asignó un valor de cero en la columna de puntos.

OBJECTID*	Shape *	COD	COD2	Shape Length	Shape Area	Area	Puntos
5362	Polygon	34	C34	4128023.009899	5322341072,351661	5322,341	60
1038	Polygon	16c	C16c	2178544.062609	5830576532,480827	5830,577	60
1455	Polygon	19a	C19a	3475573.532359	6248061480,811402	6248,062	60
14226	Polygon	8	C8	1256480.431835	6453490597,842455	6453,491	60
1350	Polygon	18b	C18b	4187130.471035	6599031765,783694	6599,032	60
885	Polygon	14b	C14b	2163244.850764	6630182056,900724	6630,182	60
5303	Polygon	34	C34	5699814.172928	6667817179,1289	6667,817	60
7368	Polygon	3a	C3a	2413630.918036	7166671940,009597	7166,672	60
3071	Polygon	2a	C2a	2107055.237569	7169416096,916091	7169,416	60
1226	Polygon	18a2	C18a2	3356731.538193	7554189042,88221	7554,189	60
3138	Polygon	2a	C2a	1516428.462781	7593627593,609883	7593,627	60
1178	Polygon	18a1	C18a1	2476215.765942	7663582993,110894	7663,583	60

Figura 1. Snapshot de tabla de atributos donde se observan los Códigos de ecosistemas (COD) con su corrección (COD2) y la asignación de puntos.

Creación de capa de puntos para entrenamiento del modelo: Cree una capa de puntos aleatorios con la herramienta “Create random Points”, donde especifique que el número de puntos va a corresponder a la columna Puntos.

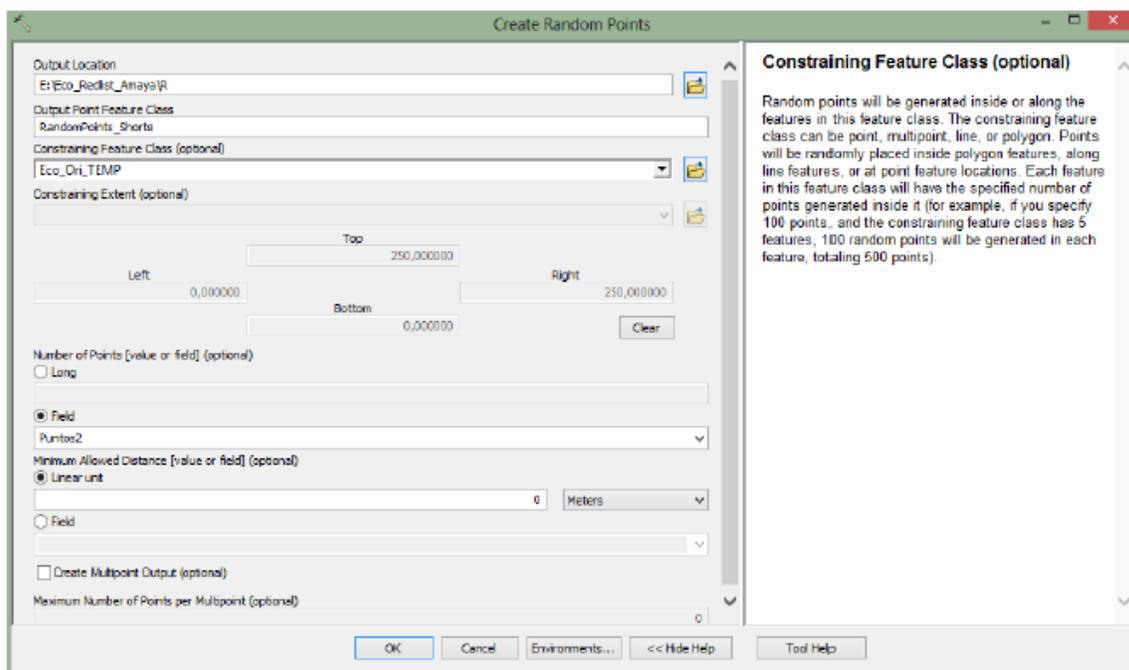


Figura 2. Visualización de la herramienta “Create Random Points”, mediante la cual se crean los puntos de referencia para el modelo.

Nota: con este procedimiento se obtuvo una capa de 397,630 puntos.

Opción b:

La segunda opción crea los puntos a partir de un FISHNET. Se crea un FISHNET con una rejilla de 1km.

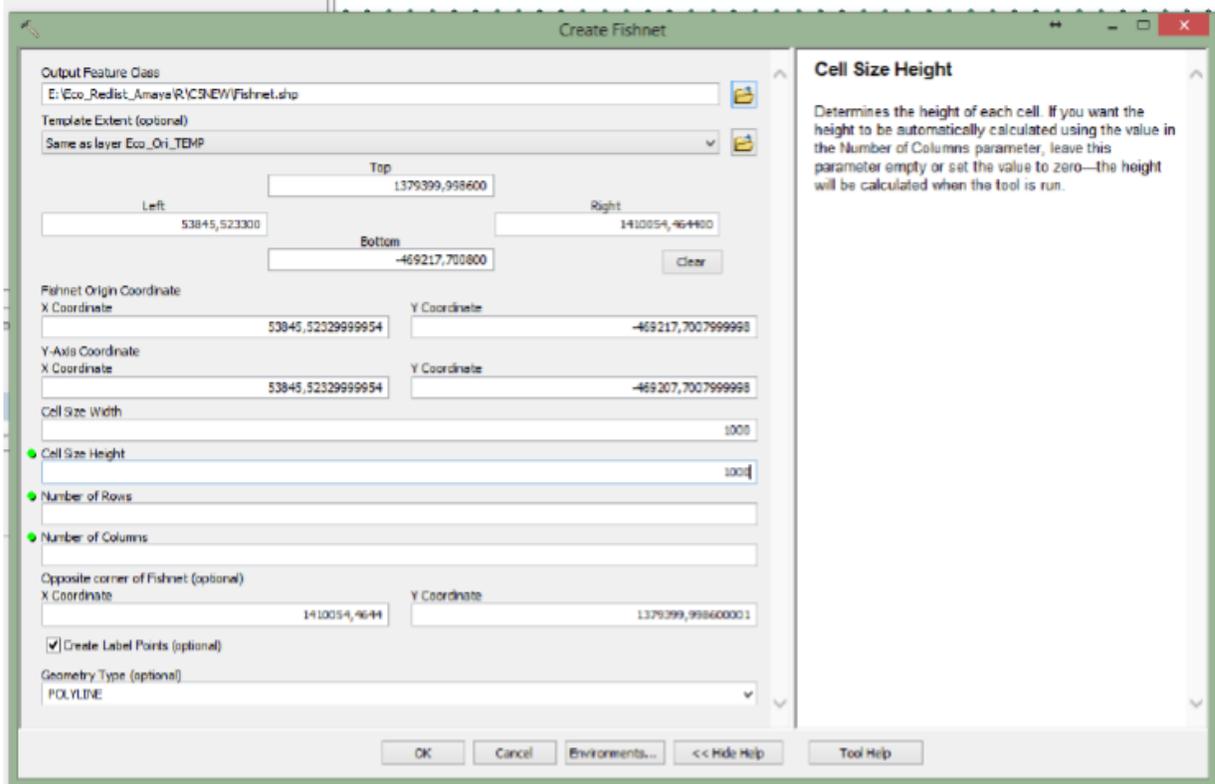


Figura 3. Visualización de la herramienta “Create fishnet”, mediante la cual se crean los puntos de referencia para el modelo C5.

Se toma la capa de puntos resultante y se corta con el polígono de referencia, en este caso el de Colombia.

Nota: con este procedimiento se obtuvo una capa de 112,694 puntos.



Figura 4. Visualización del FISHNET de puntos de referencia.

1.3 Asignación de variables para cada punto: las variables que se van a evaluar en el árbol de regresión, en nuestro caso se le asignaron 19 variables climáticas obtenidas de WorlClim, región, suelos, geo-pedología, pendiente y el modelo digital de terreno (DEM).

COD2	REGION	DXF TEXT	GEO	aster_slop	aster_qdem	Full bio1	Full bio2	Full bio3	Full bio4	Full bio5
▶ C42	AMA_S	158ai	CA	2,00197	110	264	93	85	462	317
C42	AMA_S	158ai	QA1i	1,3571	142	263	93	86	455	316
C42	AMA_S	157a	QA1n	2,82984	129	263	93	85	478	317
C42	AMA_S	158ai	QA1i	2,00187	144	263	93	86	459	318
C42	AMA_S	157a	QA1n	2,81048	150	262	93	86	466	315
C42	AMA_S	157a	QA1n	1,64558	166	262	93	86	480	315
C42	AMA_S	157a	QA1n	9,19657	166	262	93	86	479	315
C42	AMA_S	157a	QA1n	4,15686	173	262	93	86	480	315
C2b	AMA_S	101Acd	QA1n	4,42023	166	262	93	86	467	315
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	4,61065	137	262	92	85	461	315
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	3,83344	158	262	92	85	461	315
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	0,329203	160	263	92	85	452	316
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	3,23885	175	262	92	85	476	315
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	5,19096	169	262	92	85	465	315
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	0,931054	184	262	92	85	468	314
C2b	AMA_S	157a	QA1n	5,19096	177	261	92	85	477	314
C42	AMA_S	157a	QA1n	7,8783	170	262	92	85	480	314
C2b	AMA_S	157a	QA1n	7,1822	172	262	92	86	475	314
C2b	AMA_S	101Abc	LH5n	4,32182	165	262	92	85	460	315
C42	AMA_S	157a	QA1n	3,74817	175	261	92	85	485	314
C42	AMA_S	157a	QA1n	3,97144	169	262	92	85	453	315
C42	AMA_S	101Abc	LH5n	3,0323	174	262	92	85	460	315
C2b	AMA_S	157a	QA1n	1,1888	173	262	92	85	501	315

Figura 5. Tabla de atributos donde se observan asociadas las variables climáticas, región, suelos, geo-pedología, pendiente y el DEM.

1.4 Cálculo de Coordenadas de cada punto: Para cada punto calcule las coordenadas “x” y “y” mediante la herramienta Add XY Coordinates.

2 El segundo paso es la implementación del Arbol de Decisión de C5 en el software R1.

2.1 Exporte la capa de puntos a un archivo .CSV para poder ser usado desde R , o también puede abrirse el dbf desde R:

```
library(foreign)
PointsFishnet<-read.dbf("E:/Eco_Redlist_Amaya/R/PointsFishnet2.dbf")
```

2.2 Cree particiones de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 y 50% para observar en que partición se estabiliza el accuracy, estas se pueden crear mediante el siguiente código, cambiando el “p” ,el nombre del train y del test:

```
library(caret)
split2<- split(RandomPoint_Large, RandomPoint_Large$COD2)

train<-list()
DFtrain<-list()
DFtest<-list()
Train04<-data.frame()
Test04<-data.frame()

for (i in 1:82){
temp2=split2[[i]]
train[i]<-as.matrix(createDataPartition(temp2$COD2, p=0.04))
DFtrain[[i]]<-temp2[train[[i]],]
DFtest[[i]]<-temp2[-train[[i]],]
Train02<-rbind(Train02,DFtrain[[i]])
Test02<-rbind(Test02,DFtest[[i]])
}
```

2.3 Aplique el modelo a cada partición, donde se entrena el modelo con la partición de “train” y se evalúa con la de “test”. Éste código le permite agregar la predicción a una columna en el dataframe de Test, así mismo genera un .CSV donde se observa la matriz de confusión donde se puede observar como el árbol de regresión clasificó

cada punto; también se puede analizar la tabla de sensibilidad y especificidad para cada COD.

```
library(C50)
library(e1071)

Final_colnames<-colnames(Train50)
varNames<-Final_colnames[-c(1:2, 27:28)]

M50 <- C5.0(x=Train50[,varNames],y=Train50$COD2,
            trials=5,control=C5.0Control(winnow=TRUE))

pred50<-predict(M50,Test50[,varNames])
postResample(pred50, Test50$COD2)

Test50$COD2_pred<-pred50

CM50<-confusionMatrix(pred50, Test50$COD2)
write.csv(CM50$byClass, "CM/CM50.csv")
```

Prediction	C1	C11	C12	C14a	C14b	C15a	C15b	C15c
C1	6039	0	0	3	0	0	0	0
C11	0	1935	0	2	4	0	0	0
C12	0	0	217	0	0	0	0	0
C14a	5	0	0	1296	14	0	2	0
C14b	0	9	0	2	386	1	10	0
C15a	0	0	0	0	4	36	2	0
C15b	0	0	0	0	10	1	487	1
C15c	0	0	0	0	5	4	20	7
C16a	0	0	0	60	12	0	6	0
C16b	0	0	0	0	5	0	1	0
C16c	0	0	0	10	31	2	16	0
C171	0	0	0	0	0	0	1	0
C172	0	0	0	0	0	0	0	0
C173	0	0	0	0	0	0	0	0
C18a1	0	0	0	11	0	0	4	0

Statistics by class:

	Class: C1	Class: C11	Class: C12	Class: C14a	Class: C14b
Sensitivity	0.92339	0.860000	0.780576	0.778846	0.690519
Specificity	0.99558	0.997838	0.999914	0.998235	0.999329
Pos Pred value	0.87661	0.819915	0.927350	0.788321	0.743738
Neg Pred value	0.99739	0.998396	0.999693	0.998133	0.999128
Prevalence	0.03290	0.011318	0.001398	0.008370	0.002812
Detection Rate	0.03038	0.009733	0.001092	0.006519	0.001942
Detection Prevalence	0.03465	0.011871	0.001177	0.008270	0.002611
Balanced Accuracy	0.95949	0.928919	0.890245	0.888540	0.844924
	Class: C15a	Class: C15b	Class: C15c	Class: C16a	Class: C16b
Sensitivity	0.8000000	0.756211	0.6990291	0.707104	0.8409091
Specificity	0.9999698	0.999415	0.9997786	0.998696	0.9998993
Pos Pred value	0.8571429	0.807629	0.6206897	0.714917	0.8473282
Neg Pred value	0.9999547	0.999208	0.9998440	0.998646	0.9998943
Prevalence	0.0002264	0.003239	0.0005181	0.004603	0.0006640
Detection Rate	0.0001811	0.002450	0.0003622	0.003254	0.0005583
Detection Prevalence	0.0002113	0.003033	0.0005835	0.004552	0.0006589
Balanced Accuracy	0.8999849	0.877813	0.8494038	0.852900	0.9204042

Figura 6. Visualización de la Matriz de confusión y los estadísticos para cada clase de ecosistema, obtenidos luego de correr el modelo de C5.

2.4 Con los valores del precisión (accuracy) se puede generar una gráfica donde se observe donde se estabiliza la curva respecto a la precisión que se alcanza por partición, de tal forma que se pueda saber cuál es el nivel mínimo de partición adecuada para entrenar los datos.

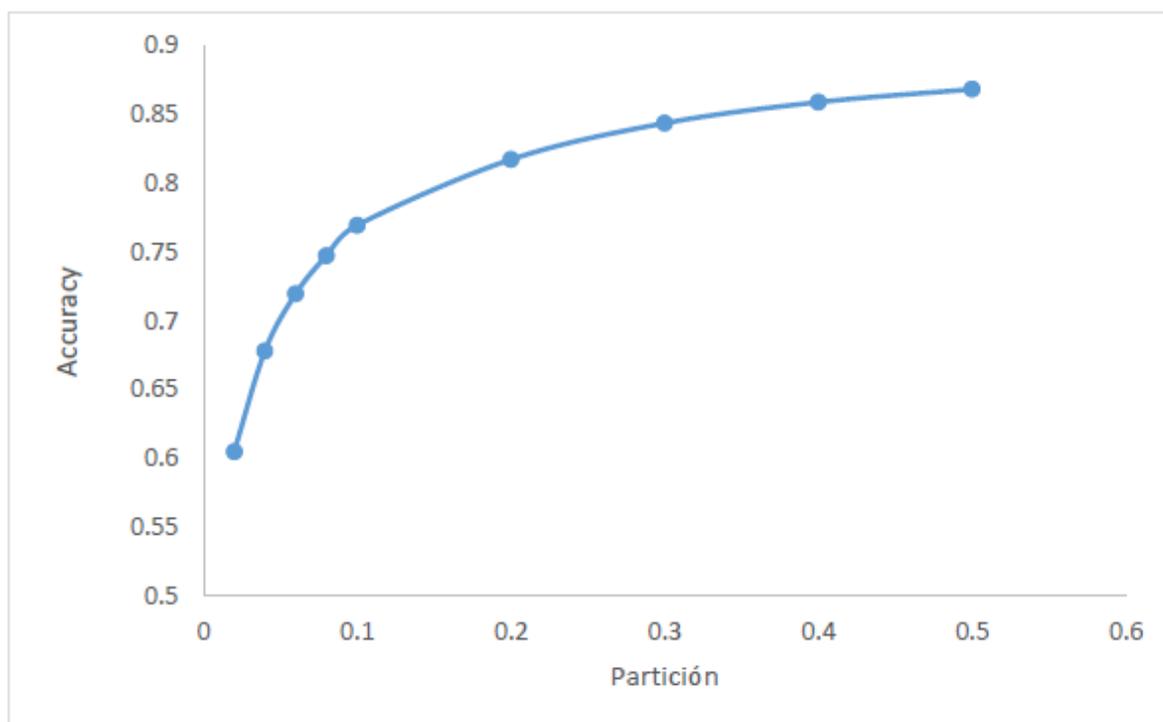


Figura 7. Curva de estabilización de la precisión de los modelos según la partición realizada.

3 El paso final es la Transformación a formato Raster de los resultados con el fin de poder visualizarlos.

```
library(raster)
library(rgdal)
```

```
Test02_Copy <- Test02[c(28,26,27)]
coordinates(Test02_Copy)<-Test02_Copy[c("POINT_X","POINT_Y")]
gridded(Test02_Copy) = TRUE
R02=raster(Test02_Copy)
```

```
writeRaster(R02, "Pred/Pred02.img", datatype= 'INT1U')
```

En las Figuras 8 y 9 se pueden ver los resultados de la predicción del 2 y el 5% de los datos, donde el raster de fondo es el que produjo el modelo con los datos de Test, y las líneas son los límites del mapa potencial de ecosistemas de entrada. Como se puede ver al analizar los límites de las unidades proyectadas, la partición del 5% es más acertada.

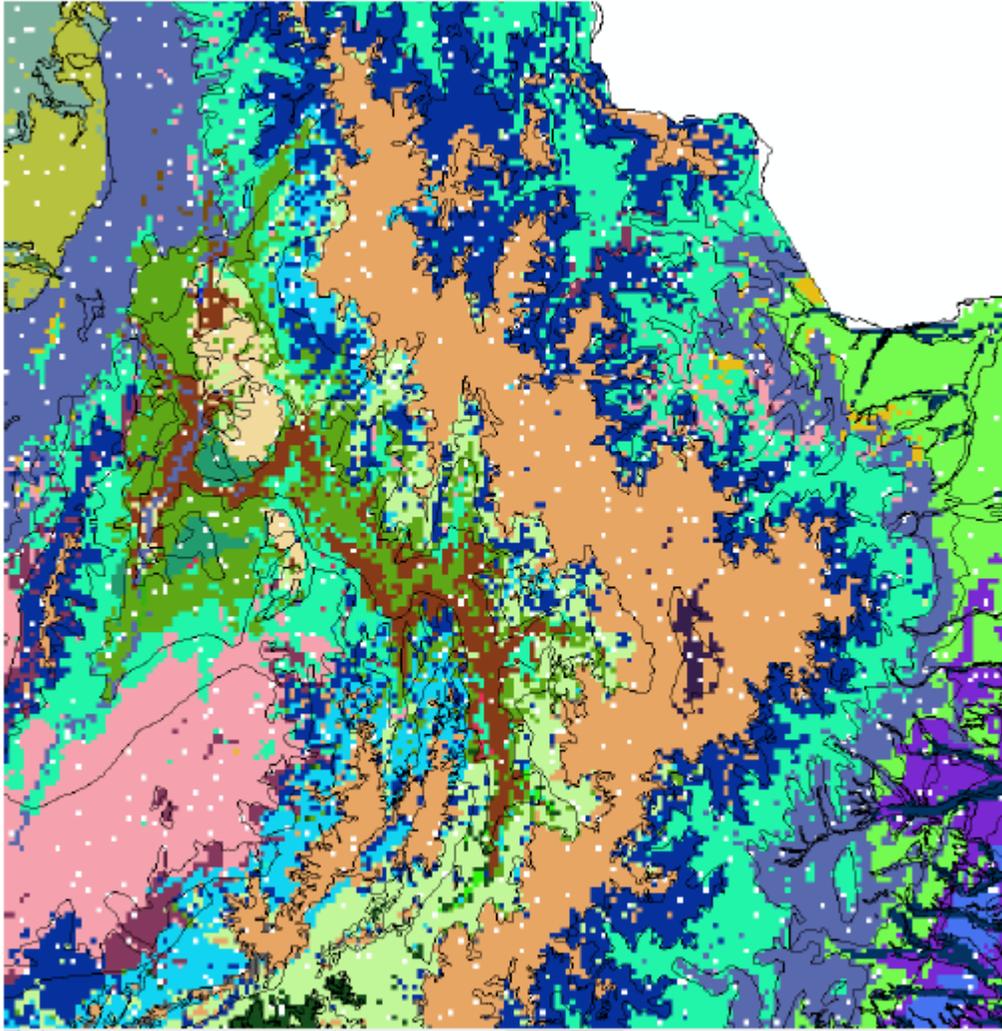


Figura 8. Raster de la reconstrucción resultante de utilizar la partición del 2% para entrenamiento.

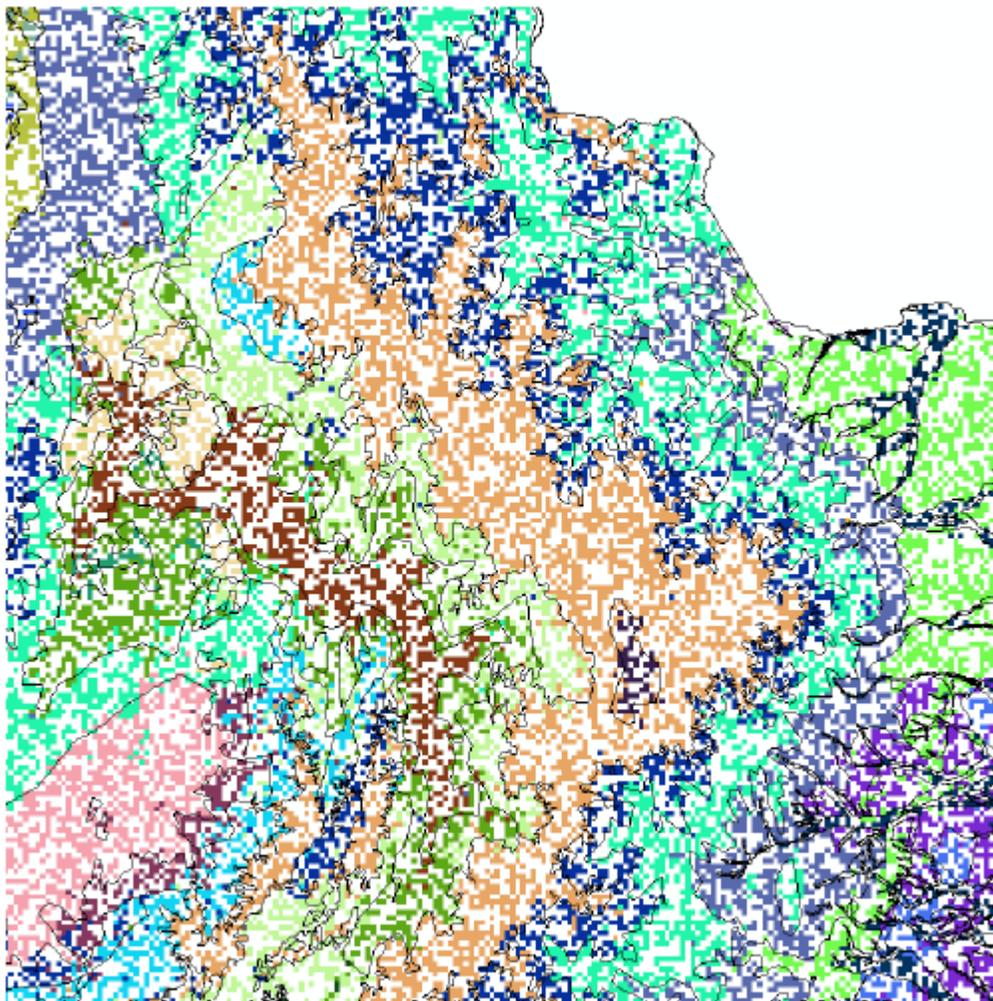


Figura 9. Raster de la reconstrucción resultante de utilizar la partición del 2% para entrenamiento.

Anexo 2. Tabla procesos e interacciones actuales que amenazan los ecosistemas.

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales	
ZBH-B1a	Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales	<i>Bosques Altos Densos</i>	Terrazas Antiguas de grandes ríos	Expansión de frontera e intensificación agrícola. Degradación local de suelos por compactación y erosión superficial	
ZBH-B1b				Intensificación agrícola, mecanización agrícola, alta fragmentación	
ZBH-B1c				Intensificación agrícola, mecanización agrícola, alta fragmentación. Deforestación y cultivos ilícitos	
ZBH-B1d					
ZBH-B2a1		Superficies erosionales ligeramente onduladas	Expansión de frontera con pastos introducidos para ganadería (+ cultivos ilícitos) e intensificación agrícola. Degradación local de suelos por compactación y erosión superficial.		
ZBH-B2a2					
ZBH-B2b					
ZBH-B2c					
ZBH-B2d		Superficies erosionales fuertemente onduladas	Expansión de frontera e intensificación agrícola. Degradación local de suelos por compactación y erosión superficial. Cultivos ilícitos. Contaminación de las fuentes hídricas por los ataques al oleoducto Caño Limón-Coveñas. Fumigaciones áreas con glifosato.		
ZBH-B3a1				Expansión de frontera con pastos introducidos para ganadería (+ cultivos ilícitos). Degradación local de suelos por erosión severa	
ZBH-B3a2				Expansión de frontera con pastos introducidos para ganadería (+ cultivos ilícitos). Degradación local de suelos por erosión severa	
ZBH-B3b				Expansión de frontera con pastos introducidos para ganadería (+ Minería). Degradación local de suelos por erosión severa	
ZBH-B4a		<i>Bosques Medios Densos</i>	Planicies estructurales arenosas	-	
ZBH-B4b				Planicies arenosas residuales ligeramente onduladas del Escudo Guayanés	-
ZBH-B4c					-
ZBH-B4d					-
ZBH-B5		<i>Bosques Medios Densos</i>	Superficies erosionales onduladas de la Altillanura Llanera		Erosión por escurrimiento concentrado y erosión laminar y eólica localizadas. Ganadería extensiva
ZBH-B6				Laderas de las serranías estructurales del escudo guayanés	Cultivos Ilícitos, Minería, Exploración de Hidrocarburos, Deforestación
ZBH-B7	Colinas y Serranías			Deforestación	
ZBsH-B8	Zonobioma Bosque e.	<i>Bosques Altos Densos</i>	Superficies erosionales	Expansión de frontera agrícola. Erosión de suelo por ganadería.	

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales
			ligeramente onduladas	
ZBsH-B9			Colinas y Superficies erosiónales fuertemente onduladas	
ZBS-B10	Zonobioma de los Bosques Secos Tropicales	<i>Bosques Altos Densos</i>	Terrazas antiguas y superficies erosiónales ligeramente onduladas	Ganadería, mosaicos agrícolas. Degradación de suelos por erosión laminar. Quemadas frecuentes.
ZBS-B11		<i>Bosques Medios Densos</i>	Colinas	Ganadería, mosaicos agrícolas. Degradación de suelos por erosión laminar. Quemadas frecuentes.
ZBS-B12			Colinas y Serranías	Degradación de suelos por erosión laminar y concentrada
ZBS-B13		<i>Bosques Bajos y Arbustales Densos</i>	Superficies erosiónales ligeramente onduladas y colinas	Degradación de suelos por erosión laminar
ZD-A1	Zonobioma de los Desiertos Tropicales	<i>Arbustales abiertos y suculentas</i>	Superficies erosiónales ligeramente onduladas	Degradación de suelos por pastoreo de cabras, Deforestación, Extracción de madera.
ZD-A2			Superficies erosiónales onduladas	
ZD-A3		<i>Arbustales bajos muy abiertos y áreas desérticas</i>	Superficies erosiónales con dunas	
P_ZBH-B14	Pedobiomas del Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales	<i>Bosques Bajos Densos esclerófilos (Caatingas amazónicas altas)</i>	Planicies arenosas residuales	-
P_ZBH-B15		<i>Bosques Bajos y Arbustales Densos esclerófilos (Caatingas amazónicas medias)</i>	ligeramente onduladas del escudo guayanés	-

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales	
P_ZBH-S1	Pedo/Peinobiosomas del ZBST y BsHT	<i>Herbazales (campinas amazónicas)</i>	Planicies arenosas residuales plano-cóncavas del escudo guayanés	Extracción de "Flor de Inírida"	
P_ZBH-A4		<i>Arbustales y Bosques Bajos Densos esclerófilos</i>	Cimas de mesas y colinas estructurales del escudo guayanés	-	
P_ZBH-S2		<i>Sabanas casmófitas y herbazales</i>		-	
P_ZBH-S3		<i>Sabanas herbáceas y arbustales</i>	Terrazas Antiguas basculadas del Piedemonte	Reemplazo de sabanas por pastos introducidos	
P_ZBH-S4			Terrazas Piedemonte Villavicencio-San Martin	Extirpado. Reemplazo de sabanas por pastos introducidos y agricultura intensiva (arroz, palma africana). Supresión total del fuego	
P_ZBH-S5			Altillanura plana	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura intensiva de cultivos semestrales. Degradación de suelos, por erosión superficial por mecanización y lavado. Compactación y aparente disminución de infiltración con afectación en hidrología. Supresión del fuego.	
P_ZBH-S6			Altillanura ondulada	Expansión localizada de frontera agrícola con pastos introducidos, en áreas mecanizables. Cultivos forestales de exóticas (<i>Acacia mangium</i>). Degradación de suelos, por erosión superficial y concentrada por mecanización y lavado. Supresión del fuego.	
P_ZBH-S7			Altillanura arenosa con influencia del escudo guayanés	Ganadería extensiva tradicional.	
P_ZBH-S8			Dunas del piedemonte		
P_ZBH-S9			Llanura aluvial de desborde y terrazas del piedemonte	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura intensiva de cultivos semestrales. Degradación de suelos, por erosión superficial por mecanización y lavado. Drenaje de sabanas inundables hidrología. Supresión del fuego.	
P_ZBH-S10			Llanura aluvial/eólica del piedemonte	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura intensiva de cultivos semestrales. Supresión del fuego.	
P_ZBS-S11			<i>Sabanas herbáceas con arbustales</i>	Terrazas antiguas y planicies onduladas	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura intensiva de cultivos semestrales. Degradación de suelos, por erosión superficial por mecanización y lavado. Compactación y aparente disminución de infiltración con afectación en hidrología. Supresión del fuego.
P_ZBS-S12				Planicies onduladas	

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales
O_ZBH-B16	Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Bosques Altos Densos	Colinas y montañas sub-montañas de la Serranía de la Macarena	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura de colonización (+ cultivos ilícitos).
O_ZBH-B17			Colinas y montañas montañas de la Serranía de la Macarena	-
O_ZBH-B18		Bosques Medios Densos	Colinas y montañas alti-montañas de la Serranía de la Macarena	Cultivos ilícitos
O_ZBH-B19a		Bosques Altos Densos	Colinas y montañas sub-andinas húmedas	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura de colonización (+ cultivos ilícitos). Degradación de suelos por ganadería (pata de vaca y erosión superficial). Expansión de pastos introducidos (<i>Melinis minutiflora</i> , <i>Brachiaria spp.</i>).
O_ZBH-B19b			Colinas y montañas sub-andinas muy húmedas	Minería, Expansión de frontera agrícola
O_ZBH-B20a		Bosques Medios Densos	Colinas y montañas andinas húmedas	Cinturón cafetero. Ganadería semi intensiva de doble propósito. Degradación de suelos por ganadería (pata de vaca y erosión superficial). Expansión de pastos introducidos (<i>Cynodon spp.</i>).
O_ZBH-B20b			Colinas y montañas andinas húmedas	Cinturón cafetero (Café)
O_ZBH-B21a			Colinas y montañas alto-andinas húmedas	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura de colonización. Degradación de suelos por ganadería (pata de vaca/terracetas de ganado). Expansión de pastos introducidos (<i>Pennisetum clandestinum</i>).
O_ZBH-B21b			Colinas y montañas alto-andinas muy húmedas	Expansión de frontera agrícola con pastos introducidos y agricultura de colonización (+ cultivos ilícitos). Degradación de suelos por ganadería (pata de vaca/terracetas de ganado). Expansión de pastos introducidos (<i>Pennisetum clandestinum</i>).
O_ZBH-B21c			Colinas y montañas alto-andinas sub-húmedas	Frontera agrícola estable, con pastos introducidos como el Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>). Alta frecuencia de incendios forestales. Minería de carbón.
O_ZBH-B21d			Colinas y montañas alto-andinas húmedas a sub-húmedas	Frontera agrícola estable, con pastos introducidos como el Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>). Extracción maderas. Degradación de suelos por ganadería (pata de vaca/terracetas de ganado).
O_ZBH-B22			Altiplanicie cordillerana alto-andina	Extirpado. Expansión de la frontera agrícola con pastos introducidos como el Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales
O_ZBH-S13		<i>Herbazales y arbustales densos</i>	Colinas y montañas alto-andinas paramunas (origen glaciar) muy húmedas	Agricultura localizada. Ganadería extensiva de vacunos y ovinos. Degradación de suelos por pisoteo de ganado. Degradación y desecación de turberas. Quemadas. Pastos introducidos (<i>Anthoxantum odoratum</i> y <i>Holcus lanatus</i>)
O_ZBH-S14			Colinas y montañas alto-andinas paramunas húmedas	Agricultura localizada. Ganadería extensiva de vacunos y ovinos. Degradación de suelos por pisoteo de ganado. Degradación y desecación de turberas. Quemadas. Minería de carbón. Contaminación de fuentes de agua. Pastos introducidos (<i>Anthoxantum odoratum</i> y <i>Holcus lanatus</i>)
O_ZBH-S15		<i>Herbazales</i>	Colinas y montañas alto-andinas paramunas secas	Ganadería extensiva de ovinos. Quemadas. Pastos introducidos (<i>Anthoxantum odoratum</i> y <i>Holcus lanatus</i>)
O_ZBH-N		<i>Herbazales abiertos y nieves</i>	Colinas y montañas alto-andinas super-paramunas	Pérdida de cobertura glaciar por calentamiento. Turismo y pastoreo de ovejas y cabras.
Oz_ZBH-B23	Orobiomas zonales del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	<i>Bosques bajos densos y Arbustales</i>	Colinas y montañas andinas secos de valles intra-andinos	Agricultura localizada. Ganadería extensiva ovinos y caprinos. Degradación de suelos por pisoteo. Expansión/invasión de pastos introducidos (<i>Melinis minutiflora</i>). Erosión en forma de cárcavas
Oz_ZBH-A5		<i>Arbustales y cardonales densos</i>		
Oz_ZBH-A6		<i>Arbustales xerofíticos</i>	Altiplanicie cordillerana alto-andina	Ganadería extensiva ovinos y caprinos. Degradación de suelos por pisoteo. Minería de materiales de construcción. Agricultura (cultivos mixtos). Erosión hídrica y eólica
Oz_ZBH-S16		<i>Sabanas herbáceas con arbustales</i>	Altiplanicie cordillerana alto-andina	Intensificación agrícola, mecanización agrícola, alta fragmentación
O_ZBH-P1	Helobiomas O_ZBH	<i>Bosques, herbazales y pantanos</i>	Altiplanicie cordillerana alto-andina	Desecación de humedales, rellenos; canalización de cauces. Interrupción de flujo hidrológico. Contaminación orgánica e inorgánica severa.
He_ZBH-B24	Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	<i>Bosques Altos Densos y pantanos</i>	Llanuras aluviales de desborde de ríos andinos	Intensificación agrícola semipermanente, mecanización agrícola. Extracción de maderas comerciales.
He_ZBH-B25			Llanura aluvial de desborde "Cativa"	Drenaje y desecamiento artificial; canalización de cauces. Extracción de maderas comerciales. Intensificación agrícola semipermanente, mecanización agrícola.
He_ZBH-B26		<i>Bosques Altos Densos</i>	Llanuras aluviales erosionales de ríos andinos	Extracción de maderas comerciales. Deforestación para ganadería y cultivos. Intensificación agrícola con mecanización agrícola.
He_ZBH-B27			Llanuras aluviales erosionales aguas blancas	Extracción de maderas comerciales. Deforestación para ganadería y cultivos.

Código	Bioma	Fisionomía	Paisaje	Procesos e interacciones actuales
He_ZBH-B28		<i>Bosques Medios Densos</i>	Llanuras aluviales erosiónales aguas claras	Minería de coltan y oro localizada.
He_ZBH-B29			Llanuras aluviales erosiónales llaneras	Extracción de maderas. Expansión localizada de frontera agrícola.
He_ZBH-B30		<i>Bosques Bajos y Arbustales Densos</i>	Llanuras aluviales erosiónales de aguas negras	Minería de coltan y oro localizada.
He_ZBH-B31		<i>Bosques Medios y Bajos Densos</i>	Llanuras aluviales erosiónales "morichales"	Colmatación de cauces por erosión de altillanuras aledañas. Degradación de vegetación y suelos por pisoteo de ganado y "entrada" de quemas.
He_ZBH-B32			Llanuras fluviomarinadas de desborde muy húmedas	Extracción de maderas y recursos como "palmito" (<i>Euterpe oleracea</i>), guandal y sajal. Alteración hidrológica por construcción de canales para extracción de maderas.
He_ZBH-P2		<i>Bosques bajos, herbazales y vegetación flotante</i>	Llanura aluvial de desborde	Deseccación de pantanos para crear vías para el transporte de madera
He_ZD-B33	Helobioma del ZDT	<i>Bosques Medios y Bajos Densos</i>	Llanuras aluviales erosiónales torrenciales	Colmatación de cauces por erosión de áreas aledañas. Agricultura semipermanente y permanente. Degradación de vegetación y suelos por pisoteo de ganado y "entrada" de quemas.
He_ZBS-B34	Helobiosmas del Zonobioma de Bosque Seco Tropical	<i>Bosques Altos y Medios Densos</i>	Llanuras aluviales erosiónales	Minería de oro localizada. Extracción de maderas comerciales. Deforestación para ganadería y cultivos.
He_ZBS-P3		<i>Bosques bajos, herbazales y vegetación flotante</i>	Llanura aluvial de desborde	
He_ZBS-P4				Contaminación orgánica e inorgánica
Ha_ZBH-B35	Halobioma del ZBHT	<i>Bosques altos densos de manglar</i>	Planicies marinas y fluviomarinadas activas húmedas a muy húmedas	Extracción de maderas.
Ha_ZBS-B36	Halobioma del ZBST	<i>Bosques bajos densos y arbustales de manglar</i>	Planicies marinas y fluviomarinadas activas secas a subhúmedas	Extracción de maderas. Invasión con rellenos y desecación.
Agua	Hidrobiomas	<i>Lagos, lagunas, ciénagas permanentes, y cauces de ríos mayores</i>	Depresiones	Contaminación orgánica e inorgánica

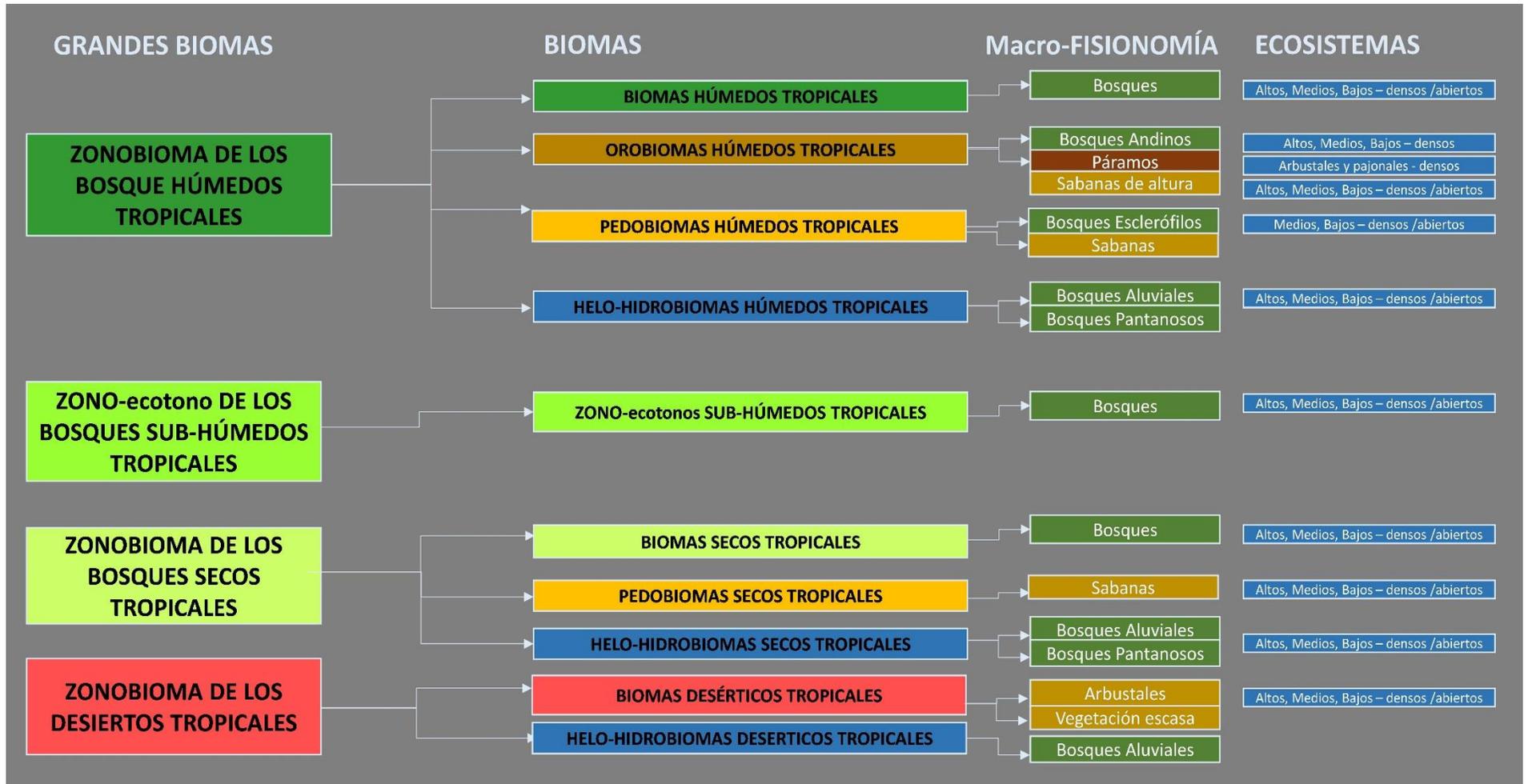
Anexo 3. Especies y procesos utilizados para informar los cambios en la distribución de procesos bióticos para evaluar el criterio D.

	ESPECIE FAUNA	FAMILIA	ESPECIE FLORA	FAMILIA	PROCESO
AVES	<i>Aratinga weddellii</i>	Psittacidae	<i>Erythrina fusca</i>	Fabaceae	Polinización
	<i>Anisognathus somptuosus</i>	Thraupidae	<i>Aniba muca</i>	Lauraceae	Dispersión
	<i>Arremon aurantirostris</i>	Emberizidae	<i>Urera caracasana</i>	Urticaceae	Dispersión
	<i>Atlapetes schistaceus</i>	Emberizidae	<i>Clusia multiflora</i>	Clusiaceae	Dispersión
	<i>Aulacorhynchus haematopygus</i>	Ramphastidae	<i>Miconia acuminifera</i>	Melastomataceae	Dispersión
	<i>Brotogeris cyanoptera</i>	Psittacidae	<i>Erythrina fusca</i>	Fabaceae	Polinización
	<i>Capito niger</i>	Capitonidae	<i>Palicourea lasiantha</i>	Rubiaceae	Dispersión
	<i>Cotinga cayana</i>	Cotingidae	<i>Hebepetalum humirifolium</i>	Linaceae	Dispersión
	<i>Dendroica fusca</i>	Parulidae	<i>Miconia notabilis</i>	Melastomataceae	Dispersión
	<i>Eubucco bourcierii</i>	Capitonidae	<i>Miconia theaezans</i>	Melastomataceae	Dispersión
	<i>Glaucis hirsuta</i>	Trochilidae	<i>Besleria aggregata</i>	Besleriaceae	Polinización
			<i>Costus scaber</i>	Costaceae	
			<i>Duroia hirsuta</i>	Rubiaceae	
			<i>Heliconia stricta</i>	Heliconiaceae	
			<i>Palicourea lasiantha</i>	Rubiaceae	
			<i>Psychotria platypoda</i>	Rubiaceae	
	<i>Ortalis columbiana</i>	Cracidae	<i>Cupania latifolia</i>	Sapindaceae	Dispersión
			<i>Eugenia florida</i>	Myrtaceae	
			<i>Miconia minutiflora</i>	Melastomataceae	
			<i>Miconia rubiginosa</i>	Melastomataceae	
			<i>Myrcia popayanensis</i>	Myrtaceae	
			<i>Ocotea aurantiodora</i>	Lauraceae	
	<i>Phaethornis atrimentalis</i>	Trochilidae	<i>Psychotria poeppigiana</i>	Rubiaceae	Polinización
	<i>Phaethornis bourcierii</i>	Trochilidae	<i>Besleria aggregata</i>	Besleriaceae	Polinización
			<i>Centropogon cornutus</i>	Campanulaceae	
			<i>Costus scaber</i>	Costaceae	
			<i>Duroia hirsuta</i>	Rubiaceae	
			<i>Heliconia stricta</i>	Heliconiaceae	
			<i>Psychotria poeppigiana</i>	Rubiaceae	
	<i>Phaethornis hispidus</i>	Trochilidae	<i>Besleria aggregata</i>	Besleriaceae	Polinización
<i>Centropogon cornutus</i>			Campanulaceae		
<i>Costus scaber</i>			Costaceae		
<i>Duroia hirsuta</i>			Rubiaceae		
<i>Heliconia stricta</i>			Heliconiaceae		
<i>Palicourea lasiantha</i>			Rubiaceae		
<i>Phaethornis malaris</i>	Trochilidae	<i>Besleria aggregata</i>	Besleriaceae	Polinización	
		<i>Centropogon cornutus</i>	Campanulaceae		
		<i>Costus scaber</i>	Costaceae		
		<i>Duroia hirsuta</i>	Rubiaceae		
		<i>Erythrina fusca</i>	Fabaceae		
		<i>Heliconia stricta</i>	Heliconiaceae		
		<i>Palicourea lasiantha</i>	Rubiaceae		
		<i>Psychotria platypoda</i>	Rubiaceae		
<i>Phaethornis ruber</i>	Trochilidae	<i>Besleria aggregata</i>	Besleriaceae	Polinización	
		<i>Calathea altissima</i>	Marantaceae		
		<i>Psychotria poeppigiana</i>	Rubiaceae		
<i>Pipra mentalis</i>	Pipridae	<i>Clidemia densiflora</i>	Melastomataceae	Dispersión	
<i>Pteroglossus azara</i>	Ramphastidae	<i>Palicourea lasiantha</i>	Rubiaceae	Dispersión	
<i>Pteroglossus pluricinctus</i>	Ramphastidae	<i>Euterpe catinga</i>	Arecaceae	Dispersión	

	ESPECIE FAUNA	FAMILIA	ESPECIE FLORA	FAMILIA	PROCESO
INSECTOS	<i>Querula purpurata</i>	Cotingidae	<i>Hebepetalum humiriifolium</i>	Linaceae	Dispersión
	<i>Ramphastos tucanus</i>	Ramphastidae	<i>Euterpe catinga</i>	Arecaceae	Dispersión
			<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Myristicaceae	
	<i>Tangara cyanicollis</i>	Thraupidae	<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	Dispersión
	<i>Thraupis episcopus</i>	Thraupidae	<i>Erythrina fusca</i>	Fabaceae	Polinización
	<i>Threnetes leucurus</i>	Throchilidae	<i>Duroia hirsuta</i>	Rubiaceae	Polinización
			<i>Heliconia stricta</i>	Heliconiaceae	
			<i>Palicourea lasiantha</i>	Rubiaceae	
	<i>Danaus plexippus</i>	Nymphalidae	<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	Polinización
	<i>Heliconius clysonymus</i>	Nymphalidae	<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	Polinización
			<i>Erato vulcanica</i>	Asteraceae	
	<i>Bombus rubicundus</i>	Apidae	<i>Ageratina asclepiadea</i>	Asteraceae	Polinización
			<i>Espeletia grandiflora</i>	Asteraceae	
			<i>Gaultheria anastomosans</i>	Ericaceae	
			<i>Gaultheria rigida</i>	Ericaceae	
	<i>Bombus funebris</i>	Apidae	<i>Vaccinium meridionale</i>	Ericaceae	Polinización
			<i>Espeletia grandiflora</i>	Asteraceae	
<i>Gaultheria anastomosans</i>			Ericaceae		
		<i>Gaultheria rigida</i>	Ericaceae		
<i>Euglossa mixta</i>	Apidae	<i>Spathiphyllum friedrichsthali</i>	Arecaceae	Polinización	
<i>Eulaema meriana</i>	Apidae	<i>Miconia serrulata</i>	Melastomataceae	Polinización	
<i>Oxytrigona daemoniaca</i>	Apidae	<i>Sabal mauritiiformis</i>	Arecaceae	Polinización	
<i>Trigona angustula</i>	Apidae	<i>Astrocaryum malybo</i>	Arecaceae	Polinización	
		<i>Euterpe precatória</i>	Arecaceae		
		<i>Iriartea deltoidea</i>	Arecaceae		
		<i>Mimosa pigra</i>	Fabaceae		
		<i>Syagrus orinocensis</i>	Arecaceae		
		<i>Wettinia praemorsa</i>	Arecaceae		
<i>Xylocopa frontalis</i>	Apidae	<i>Crescentia cujete</i>	Bignoniaceae	Polinización	
		<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae		
		<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Bignoniaceae		
		<i>Hymenaea courbaril</i>	Leguminosae		
		<i>Miconia serrulata</i>	Melastomataceae		
		<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae		
<i>Cochliomyia macellaria</i>	Calliphoridae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Combretaceae	Polinización	
PRIMATES	<i>Alouatta palliata</i>	Atelidae	<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	Dispersión
			<i>Poulsenia armata</i>	Moraceae	
	<i>Alouatta seniculus</i>	Atelidae	<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	Dispersión
			<i>Pseudolmedia laevis</i>	Moraceae	
	<i>Ateles belzebuth</i>	Atelidae	<i>Coussapoa orthoneura</i>	Urticaceae	Dispersión
			<i>Oenocarpus bataua</i>	Arecaceae	
	<i>Ateles geoffroyi</i>	Atelidae	<i>Brosimum lactescens</i>	Moraceae	Dispersión
			<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	
<i>Lagothrix lagotricha</i>	Atelidae	<i>Brosimum lactescens</i>	Moraceae	Dispersión	
		<i>Pourouma bicolor</i>	Urticaceae		
		<i>Sorocea pubivena</i>	Moraceae		
QUIRÓPTEROS	<i>Artibeus lituratus</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia ficifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
			<i>Cecropia telenitida</i>	Urticaceae	
			<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	
			<i>Solanum aphyodendron</i>	Solanaceae	
			<i>Vismia cayennensis</i>	Hypericaceae	
	<i>Vismia guianensis</i>	Hypericaceae			
<i>Artibeus planirostris</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia peltata</i>	Urticaceae	Dispersión	
		<i>Ficus obtusifolia</i>	Moraceae		
		<i>Ficus tonduzii</i>	Moraceae		

ESPECIE FAUNA	FAMILIA	ESPECIE FLORA	FAMILIA	PROCESO
		<i>Piper peltatum</i>	Piperaceae	
		<i>Vismia cayennensis</i>	Hypericaceae	
		<i>Vismia guianensis</i>	Hypericaceae	
<i>Carollia brevicauda</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia ficifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
		<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae	
		<i>Vismia guianensis</i>	Hypericaceae	
<i>Carollia castanea</i>	Phyllostomidae	<i>Piper arboreum</i>	Piperaceae	Dispersión
		<i>Vismia baccifera</i>	Hypericaceae	
<i>Carollia perspicillata</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia ficifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
		<i>Cecropia peltata</i>	Urticaceae	
		<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	
		<i>Myrcia popayanensis</i>	Myrtaceae	
		<i>Piper marginatum</i>	Piperaceae	
		<i>Vismia gracilis</i>	Hypericaceae	
		<i>Vismia cayennensis</i>	Hypericaceae	
		<i>Vismia guianensis</i>	Hypericaceae	
<i>Dermanura glauca</i>	Phyllostomidae	<i>Piper marginatum</i>	Piperaceae	Dispersión
<i>Dermanura phaeotis</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
		<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae	
		<i>Solanum aphyodendron</i>	Solanaceae	
<i>Sturnira lilium</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
		<i>Ficus obtusifolia</i>	Moraceae	
		<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	
		<i>Vismia cayennensis</i>	Hypericaceae	
<i>Uroderma bilobatum</i>	Phyllostomidae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	Dispersión
		<i>Ficus obtusifolia</i>	Moraceae	

Anexo 4. Jerarquía de la clasificación de los ecosistemas potenciales colombianos.



Anexo 5. Leyenda extendida del mapa de ecosistemas.

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
ZBH-B1a	<i>Goupia glabra</i> , <i>Clathrotropis macrocarpa</i> , <i>Swartzia shomburgkii</i> , <i>Mezilaurus Dacryodes</i> , <i>Heterostemum</i> , <i>Virola callophyloidea</i> , <i>Oenocarpus sp</i>	Aluviones antiguos de relieve plano y suelos infértiles	130	2.24	19.92	32.19	26.93	3522	Amazonia	1,507,550	0.93	3, 49
ZBH-B1b	<i>Bombacopsis quinata</i> , <i>Pouteria anibaefolia</i> , <i>Attalea</i> , <i>Trichilia</i> , <i>Manilkara</i> , <i>Hymenaea</i> , <i>Pseudolmedia</i>	Aluviones antiguos de relieve plano y suelos fértiles	261	3.04	19.46	32.03	26.50	2413	Arauca, Meta (Villavicencio)/ Arauca, Casanare	1,413,013	0.42	-
ZBH-B1c	<i>Cariniana pyriformis</i> , <i>Anacardium excelsum</i> , <i>Ceiba</i> , <i>Pseudosamanea</i> , <i>Maclura</i>		119	2.53	20.18	31.91	27.05	2288	Magdalena	507,163	0.17	28
ZBH-B1d	<i>Anacardium excelsum</i> , <i>Cariniana pyriformis</i> , <i>Sterculia apetala</i> , <i>Vochysia lehmanii</i> , <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Ochotereanea colombiana</i>		125	4.46	20.23	31.93	27.06	3130	Catatumbo	97,781	0.31	3, 27, 49
ZBH-B2a1	<i>Pseudolmedia</i> , <i>Dialium</i> , <i>Chrysophyllum</i> , <i>Macoubea</i> , <i>Lindacheria</i> , <i>Goupia glabra</i> , <i>Clathrotropis macrocarpa</i>		Sedimentos terciarios de origen aluvial muy lavados francos a arenosos	270	3.15	19.49	33.99	26.52	3141	Guaviare, Meta, Vaupés	10,321,644	0.79
ZBH-B2a2	<i>Pseudolmedia</i> , <i>Eschweilera</i> , <i>Matisia</i>	111		2.36	20.00	34.55	27.00	3297	Caquetá, Amazonas	4,092,163	0.99	
ZBH-B2b	<i>Hymenaea</i> , <i>Cariniana</i> , <i>Cochlospermum</i>	207		7.97	19.60	34.17	26.62	2534	Bolívar, Cesar, Magdalena, Santander	1,213,663	0.29	44,51
ZBH-B2c	<i>Eschweilera</i> , <i>Cavanillesia</i> , <i>Prioria</i> , <i>Dacryodes</i>	113		7.40	20.30	34.06	27.20	5450	Pacífico	1,760,456	0.80	28

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
ZBH-B2d	<i>Anacardium excelsum</i> , <i>Gustavia hexapetala</i> , <i>Cariniana pyriformis</i> , <i>Sterculia apetala</i> , <i>Vochysia</i> <i>lehmanii</i> , <i>Ceiba pentandra</i>		210	14.75	19.51	34.40	26.46	3359	Catatumbo	300,838	0.55	3,49
ZBH-B3a1	<i>Brosimum</i> , <i>Lecythis</i> , <i>Oenocarpus</i> , <i>Protium</i> , <i>Cedrelinga</i> , <i>Swartzia</i> , <i>Clathrotropis</i> , <i>Pouteria</i>	Sedimentos terciarios aluviales francos a arenosos	201	3.43	19.83	34.77	26.85	3332	Amazonía Norte	9,147,931	0.92	3,49
ZBH-B3a2	<i>Eschweilera</i> , <i>Virola</i> , <i>Cedrelinga</i>	Sedimentos terciarios fluviomarinos	109	3.01	20.00	34.16	27.00	3312	Amazonía Sur	2,507,119	0.99	3,49
ZBH-B3b	<i>Anacardium</i> , <i>Cavanillesia</i> , <i>Manilkara</i>	arcillosos	223	15.37	19.81	35.00	26.77	6404	Pacífico	2,549,400	0.90	44,51
ZBH-B4a	<i>Pseudolmedia laevigata</i> , <i>Irynathera ulei</i> , , <i>Phenakospermum</i> <i>guianensis</i> , <i>Annona</i> <i>excellens</i> , <i>Pourouma bicolor</i> , <i>Goupia glabra</i> , <i>Aphelandra</i> <i>macrostachya</i> , <i>Dendropanax</i> <i>arboreus</i> , <i>Attalea insignis</i>		305	2.52	19.50	35.00	26.55	3350	Guaviare, Vaupés	2,261,800	0.99	3,27,49
ZBH-B4b	<i>Leopoldinia piassaba</i> , <i>Virola</i> , <i>Qualea brevipedicellata</i> , <i>Protium paraense</i> , <i>Poraqueiba paraensis</i> , <i>Poraqueiba sericea</i> , <i>Xylopia</i> , <i>Euterpe caatinga</i> , <i>Hevea</i> <i>guianensis</i> , <i>Hevea</i> <i>pauciflora</i> , <i>Qualea paraensis</i>		146	2.07	20.00	34.88	27.00	3255	Guainía	513,675	0.96	10,11,27,28
ZBH-B4c	<i>Eperua leucantha</i> , <i>Eperua</i> <i>purpurea</i> , <i>Micrandra</i> <i>spruceana</i> , <i>Gustavia pulchra</i> , <i>Monopteryx uaucu</i>		175	3.42	19.97	34.47	26.97	3329	Guainía, Vaupés	970,313	0.98	27,28
ZBH-B4d	<i>Eperua purpurea</i> , <i>Eperua</i> <i>leucantha</i> , <i>Clathrotropis</i> <i>macrocarpa</i> , <i>Oenocarpus</i> <i>bataua</i>		173	3.41	19.98	33.48	26.98	3428	Guainía, Vaupés	883,638	0.98	27,28

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
ZBH-B5	<i>Protium, Ficus, Caraipa, Xylopia, Nectandra, Bellucia, Aniba, Eugenia, Toccoca, Cupania, Phenakospermum</i>	Sedimentos terciarios de origen aluvial muy lavados	209	3.10	19.90	33.99	26.92	2624	Meta, Vichada	288,831	0.91	3,27,49
ZBH-B6	<i>Licania, Vochysia laxiflora, Manilkara bidentata, Bactris acantophora, Farama, Iryanthera, Chrysophyllum, Roucheria punctata, Pouteria eugenifolia, Brosimum rubescens, Dryopteris patula.</i>	Afloramientos ígneos y metamórficos ácidos	251	7.50	19.44	35.00	26.47	3525	Caquetá, Guaviare, Vaupés	884,844	0.97	27,28
ZBH-B7	<i>Tapirira guinensis, Pachira sordida, Camptosperma gummifera, Xylopia aromatica, Psychotria cardiomorphis, Aspidosperma, Protium, Humiria, Clusia columnaris, Selaginella</i>		313	20.07	18.94	34.66	25.98	4229	Chocó y Antioquia	959,100	0.93	44,51
ZBsH-B8	<i>Bursera, Brosimum, Vochysia, Lindackeria, Cochlospermum</i>	Sedimentos terciarios de origen aluvial muy lavados	166	4.63	20.42	34.04	27.29	2852	Caribe y Antioquia	148,388	0.18	16,50
ZBsH-B9	<i>Bursera, Brosimum, Vochysia, Lindackeria, Cochlospermum</i>		149	6.77	20.05	33.91	26.95	2813	Caribe y Antioquia	764,619	0.16	16,50
ZBS-B10	<i>Cavanillesia, Bursera, Bombacopsis, Spondias, Melicoccus, Pithecellobium dulce, Enterolobium cyclocarpum, Gazuma</i>	Sedimentos terciarios básicos de origen fluvio-marino y aluvial	248	2.76	19.45	33.91	26.45	1369	Caribe, Andes	3,099,488	0.06	7, 9, 16, 23, 29, 30, 31, 40, 41, 42, 43, 50, 59,
ZBS-B11	<i>Senna reticulata, Gliciridia sepium, Senna obtusifolia, Platymiscium pinnatum, Senna occidentalis</i>	Sedimentos terciarios de origen marino (calizas y arcillolitas)	259	7.48	19.34	33.91	26.33	1388		3,514,813	0.05	

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
ZBS-B12	<i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Ochroma pyramidale</i> , <i>Pithecellobium dulce</i> , <i>Enterolobium</i> <i>cyclocarpum</i> , <i>Indigofera</i> <i>suffruticosa</i>		771	26.22	16.34	21.61	23.60	1433		1,987,650	0.11	
ZBS-B13	<i>Prosopis</i> , <i>Bursera</i> , <i>Caesalpinia</i> , <i>Libidibia</i> , <i>Poponax</i>	Sedimentos terciarios básicos de origen fluviomarino y aluvial	58	2.05	20.62	27.81	27.49	606	Caribe (Departamento de la Guajira)	432,094	0.77	
ZD-A1	<i>Capparis odoratissima</i> , <i>Prosopis juliflora</i> , <i>Acanthocereus sicariguensis</i> , <i>Cereus</i>	Sedimentos de origen fluviomarino, aluvial y eólico	79	2.80	20.57	34.86	27.49	315	Caribe (Península de la Guajira)	562,950	0.90	5, 13, 34, 45, 55, 56,64
ZD-A2	<i>Acanthocereus tetragonus</i> , <i>Cercidium</i> , <i>Capparis</i> <i>odoratissima</i> , <i>Libidibia</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Opuntia</i> <i>spp</i> , <i>Melocactus spp</i> , <i>Aspidosperma polyneura</i> , <i>Bulnesia carrapo</i> , <i>Maclura</i> <i>tinctoria</i> , <i>Pithecellobium</i> <i>dulce</i> , <i>Prosopis juliflora</i>		443	5.19	18.20	32.91	25.33	1054		43,013	0.01	
ZD-A3	<i>Castella</i> , <i>Cereus</i> , <i>Calotropis</i> <i>procera</i> , <i>Prosopis juliflora</i>	Sedimentos eólicos	48	1.78	19.89	33.54	26.53	249		150,700	1.00	
P_ZBH-B14	<i>Compsoeura debilis</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Humiria balsamifera</i> , <i>Pithecellobium claviflorum</i> , <i>Cybianthus spicatus</i> , <i>Macrolobium</i> , <i>Pachira</i> , <i>Aldina latifolia</i> , <i>Pleonotma</i>	Peneplanicie residual con arenas sobre granito	211	3.17	19.91	34.59	26.92	3359	Guainía, Vaupés	314,544	0.99	3, 27, 49
P_ZBH-B15	<i>Aspidosperma spruceanum</i> , <i>Aldina discolor</i> , <i>Mauritia</i> <i>carana</i> , <i>Retiniphyllumschomburgkii</i> ,		164	2.65	19.99	33.99	26.99	3184	Guainía	3,466,706	0.97	3, 27, 49

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
	<i>Dimorphandra cupre</i> , <i>Anthurium bonplandii</i>											
P_ZBH-S1	<i>Schoenocephalum martianum (flor de Inirida)</i> , <i>Annona</i> , <i>Borreria</i> , <i>Clusia</i> , <i>Ormosia</i>		128	1.95	20.00	34.30	27.00	3091	Guainía	577,981	0.86	3, 27, 49
P_ZBH-A4	<i>Bonettia martiana</i> , <i>Gongylolepis martiana</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Clusia</i> , <i>Ormosia</i> , <i>Rodognaphalopsis</i> , <i>Byrsonima amoena</i> , <i>Hevea nitida</i>	Areniscas y metaareniscas cretácicas	310	9.44	18.94	33.59	25.99	3521	Caquetá, Guaviare, Vaupés	377,638	0.93	3, 27, 49
P_ZBH-S2	<i>Vellozia tubiflora</i> , <i>Navia</i> , <i>Acanthella sprucei</i> , <i>Lagenocarpus pendulus</i> , <i>Macairea thrysiflora</i> , <i>Monotrema artrophyllum</i> , <i>Bulbostylis</i> , <i>Cladonia</i>		329	7.01	18.99	17.54	26.03	3437	Caquetá, Guaviare, Vaupés	476,750	0.89	3, 27, 49
P_ZBH-S3	<i>Paspalum</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Bulbostylis</i> , <i>Curatella</i> , <i>Byrsonima</i>		Sedimentos aluviales cuaternarios	313	3.82	19.15	27.56	26.20	2626	Casanare	134,531	0.42
P_ZBH-S4	<i>Trachypogon</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Axonopus</i> , <i>Panicum</i>	antiguos francos a arenosos	349	1.58	18.92	33.65	25.97	2745	Meta	269,075	0.14	12,47
P_ZBH-S5	<i>Trachypogon</i> , <i>Axonopus</i> , <i>Panicum</i> , <i>Paspalum</i> , <i>Leptocoryphium</i>	Sedimentos terciarios aluviales francos a arenosos	116	1.08	20.00	33.73	27.00	2522	Meta, Vichada	2,595,956	0.78	12,47
P_ZBH-S6	<i>Paspalum</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Bulbostylis</i> , <i>Trachypogon</i>	parcialmente recubiertos con limos eólicos	187	2.17	19.82	33.60	26.84	2598	Meta, Vichada	4,755,519	0.91	12,47
P_ZBH-S7	<i>Trachypogon</i> , <i>Leptocoryphium</i> , <i>Bulbostylis</i> , <i>Byrsonima</i> , <i>Curatella</i>	Peneplanicie residual con arenas sobre granito y sedimentos arenosos terciarios	69	1.39	20.05	35.00	27.00	2530	Vichada	740,481	0.97	12,47

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
P_ZBH-S8	<i>Paspalum, Andropogon, Byrsonima, Curatella</i>	Sedimentos eólicos arenosos cuaternarios	105	0.77	20.00	35.00	27.00	2033	Casanare, Arauca	69,869	0.98	35,36
P_ZBH-S9	<i>Paspalum, Andropogon, Leersia</i>	Sedimentos aluviales cuaternarios francos a arenosos	163	0.65	19.93	34.45	26.94	1860	Casanare, Arauca	2,034,981	0.86	36,39,47
P_ZBH-S10	<i>Andropogon, Mesosetum, Byrsonima, Curatella</i>	Sedimentos aluviales recubiertos de limos eólicos	123	0.50	19.99	34.99	26.99	2030	Casanare, Arauca	1,883,406	0.93	35,36
P_ZBS-S11	<i>Trachypogon, Andropogon, Byrsonima, Miconia</i>	Sedimentos aluviales cuaternarios	79	2.12	20.46	34.99	27.32	1914	Caribe, Magdalena	362,569	0.79	16,50
P_ZBS-S12	<i>Andropogon, Trachypogon, Cereus, Acrocomia, Byrsonima, Curatella</i>	antiguos francos a arenosos	108	1.47	20.53	34.77	27.24	1424	Caribe, Magdalena	179,919	0.72	16,50
O_ZBH-B16	<i>Rouheria, Anacardiaceae, Lauraceae, Fabaceae</i>	Sedimentos cretácicos y rocas metamórficas	1647	21.43	16.58	31.13	23.80	1685	Meta	118,150	0.92	47
O_ZBH-B17	<i>Cariniana, Brosimum utile, Billia, Eschweilera sessilis</i>		2046	15.70	17.44	34.92	24.58	2654	Meta	73,244	0.99	47
O_ZBH-B18	<i>Weinmannia, Ocotea</i>		2660	19.45	17.27	34.59	24.49	2698	Meta	17,294	0.99	47
O_ZBH-B19a	<i>Cedrela odorata, Dendropanax,</i>		703	26.01	17.17	34.53	24.35	3560	Andes	2,886,994	0.70	2,4
O_ZBH-B19b	<i>Billia rosea, Ficus gigantasyce</i>		632	27.83	17.20	31.37	24.38	2638	Andes, Sur de Bolívar, Sierra Nevada de Santa Marta	3,365,144	0.46	2,4
O_ZBH-B20a	<i>Ocotea, Cinchona, Ceroxylon</i>		1602	34.89	11.72	34.63	19.37	2857	Andes	4,516,450	0.49	2,4
O_ZBH-B20b			1461	35.28	12.03	34.81	19.65	1983	Andes, Suroriente de la Guajira y Sierra Nevada de Santa Marta	5,099,881	0.37	2,4

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
O_ZBH-B21a	<i>Weinmania, Ocotea, Hedyosmum, Brunellia, Cedrela</i>		2381	37.93	6.40	34.92	14.50	2229	Andes	2,613,831	0.62	2,4
O_ZBH-B21b			2525	37.84	5.92	26.88	14.05	1786	Andes y Sierra Nevada de Santa Marta	3,022,781	0.50	2,4
O_ZBH-B21c	<i>Weinmania, Cedrela montana, Nectandra/Ocotea, Bilia,</i>		2711	25.87	4.86	27.15	13.06	1095	Andes	969,100	0.22	2,4
O_ZBH-B21d	<i>Quercus humboltii, Colombobalanus excelsa, Podocarpus, Magnolia spp, Genoma, Aniba, Cinchona, Nectandra, Clethra,</i>		2745	34.57	5.10	22.13	13.28	1694	Andes	519,219	0.69	2,4
O_ZBH-B22	<i>Ilex kunthiana, Vallea stipularis, Solanum ovalifolium, Myrcianthes leucoxylo, Cedrela montana, Myrica</i>	Andic Dystrudeptsy Pachic Melanudands	2514	5.46	5.82	21.69	13.89	869	Cundinamarca, Boyacá	192,081	0.01	60
O_ZBH-S13	<i>Espeletia, Swallenochloa chusquea, Aragoa, Espeletia dugandii, Espeletia estanislan, Espeletia pescana</i>		3349	35.85	0.74	34.92	8.57	1685	Andes	863,394	0.88	6,18,25,48,58
O_ZBH-S14	<i>Espeletia, Aragoa, Espeletia dugandii, Espeletia estanislan, Espeletia pescana</i>		3356	36.04	1.06	34.93	8.87	1731	Andes	1,187,900	0.67	
O_ZBH-S15	<i>Espeletiopsis, Calamagrostis effusa, Espeletiopsis petiolata, Espeletiopsis tibamoensis y Espeletiopsis sclerophylla</i>		3244	25.62	1.46	16.34	9.80	1203	Andes	161,713	0.71	
O_ZBH-N	<i>Calamagrostis, Senecio, Lycopodium</i>		4295	42.67	0.00	33.54	3.40	1665	Andes	78,094	1.00	25

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
Oz_ZBH-B23	<i>Pithecellobium, Prosopis, Gyrocarpus, Randia, Zanthoxylum fagara, Acalypha schiedeana, Tabebuia chrysantha, Bursera graveolens</i>		1405	21.60	12.72	20.72	20.28	1421	Boyacá, Santander	351,369	0.14	45,56
Oz_ZBH-A5	<i>Cestrum, Senna, Cordia, Cercidium, Stenocereus cf. griseus, Opuntia tunicata, Melochia, Mammillaria colombiana, Ceratozamia</i>		1915	37.11	9.50	24.91	17.33	1153	Boyacá, Santander	349,338	0.11	
Oz_ZBH-A6	<i>Dodonaea viscosa, Salvia bogotensis, Fourcraea, Agave spp, Opuntia schumannii, Wigginsia vorwerkiana, Caesalpinia spinosa, Aristida adscensionis, Tillandsia suescana</i>		2541	18.05	5.62	21.42	13.76	816	Cundinamarca, Boyacá	59,744	0.03	
Oz_ZBH-S16	<i>Trachypogon, Andropogon, Palicourea rigidifolia</i>		1301	20.81	12.49	16.63	20.09	1146	Santander	47,744	0.17	
O_ZBH-P1	<i>Salix, Alnus, Schoenoplectus californicus, Juncus effusus, Typha latifolia, Polypogon elongatum, Lemna minor, Eichornia crassipes, Hydrocotyle ranunculoides, Pennisetum clandestinum, Rumex conglomeratus.</i>		2489	4.14	5.57	34.85	13.76	1044	Cundinamarca, Boyacá y Nariño	628,569	0.15	18
He_ZBH-B24	<i>Theobroma obovatum, Pouteria, Oxandra, Pouruma, Endlicheria, Parkia multijuga, Swartzia cardiosperma, Guarea purusana, Inga spectabilis, Astrocaryum aculeatum, Sorocea</i>		118	1.49	20.22	20.94	27.20	2224	Andes, Cuencas Hidrograficas	1,709,975	0.51	44

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
He_ZBH- B25	<i>Prioraria copaifera</i> , <i>Lecythis tuyrana</i> , <i>Castilloa elastica</i> , <i>Anacardium excelsum</i> , <i>Terminalia lucida</i> , <i>Carapa guianensis</i> , <i>Pterocarpus officinalis</i> , <i>Gustavia nana</i> , <i>Tabernaemontana chocoensis</i> , <i>Brosimum alicastrum</i>		59	1.40	20.99	21.46	27.98	3617	Chocó	494,963	0.52	
He_ZBH- B26			219	2.29	19.71	34.25	26.73	3009	Cuencas Hidrograficas Regiones Orinoquia y Amazonia	3,042,525	0.76	44,51
He_ZBH- B27			139	6.19	20.52	34.44	27.43	6039	Cuencas Hidrograficas Regiones Pacífico	432,344	0.73	3.8.49
He_ZBH- B28	<i>Macrolobium</i> , <i>Didymicistus chrysadenius</i> , <i>Licania longistyla</i> , <i>Cynometra</i> , <i>Euterpe precatória</i> , <i>Eschweilera</i> , <i>Mabea</i> , <i>Strychnos</i> , <i>Gustavia</i> , <i>Olyra</i>		165	2.71	19.90	34.38	26.91	3255	Amazonía	2,761,313	0.89	
He_ZBH- B29	<i>Caraipa llanorum</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Protium</i> , <i>Pithecellobium</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Olyra</i>		118	2.06	20.01	34.80	26.99	2667	Meta, Vichada	601,281	0.95	3,8,49
He_ZBH- B30	<i>Gustavia</i> , <i>Vochysia</i> , <i>Acosmium</i> , <i>Roupala</i> , <i>Minuartia</i> , <i>Miconia</i> , <i>Myrcia</i>		171	2.93	19.94	34.72	26.95	3338	Amazonía	959,500	0.94	33,46
He_ZBH- B31	<i>Mauritia</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Caraipa</i> , <i>Protium</i> , <i>Erithroxylon</i> , <i>Psychotria</i>		150	1.97	19.96	34.39	26.96	2512	Orinoquia	1,600,431	0.94	44,51

Código	Biota Nativa Característica	Ambiente Físico							Región/ Departamento	Área Ecosistema Original (Ha)	Proporción Remanente (2014)	Referencias Bibliográficas*
		Sustrato	Altitud promedio (m)	Pendiente (%)	Temperatura mínima(°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación media anual (mm)				
He_ZBH-B32	<i>Mora megistosperma</i> , <i>Camposperma panamensis</i> , <i>Otoba gracilipes</i> , <i>Euterpe</i> <i>cuatrecasana</i>		29	3.28	20.83	35.00	27.76	4489	Pacífico	471,963	0.86	44,51
He_ZBH-P2	<i>Montrichardia arborescens</i> , <i>Nypa</i> , <i>Blechnum serrulatum</i> , <i>Acrostichum aereum</i> , <i>Scleria</i> <i>secans</i> , <i>Scleria melaleuca</i>	Sedimentos aluviales	13	0.57	21.00	34.77	28.00	3041	Chocó	37,592	0.35	44,51,53,54
He_ZD-B33	<i>Pithecellobium</i> , <i>Guazuma</i> , <i>Ficus</i>		52	1.27	20.61	34.13	27.45	616	Guajira	133,538	0.51	56
He_ZBS-B34	<i>Anacardium</i> , <i>Cavanillesia</i> , <i>Manilkara</i>		233	4.70	19.63	35.00	26.59	1862	Andes, Caribe	507,950	0.14	16,50
He_ZBS-P3			27	1.02	20.92	34.74	27.88	2174	Caribe	558,988	0.11	16,50
He_ZBS-P4	<i>Eichornia crassipes</i> , <i>Pistia</i> <i>stratiotes</i> , <i>Lemna sp</i> , <i>Wolffia</i> <i>sp</i> , <i>Tonina fluviatilis</i> , <i>Najas</i> <i>arguta</i>		28	0.99	20.90	11.25	27.87	2142	Caribe	36,031	0.14	16,50,52
Ha_ZBH-B35	<i>Pellicera rhizophorae</i> , <i>Mora</i> <i>megistosperma</i> , <i>Rizophora</i> <i>mangle</i> , <i>Laguncularia</i> <i>racemosa</i> , , <i>Conocarpus</i> <i>erectus</i> , <i>Avicennia</i> <i>germinans</i>		6	2.60	20.68	34.58	27.57	4995	Pacífico	414,213	0.88	44,51
Ha_ZBS-B36	<i>Rizophora mangle</i> , <i>Avicennia</i> <i>germinans</i> , <i>Conocarpus</i> <i>erectus</i> , <i>Laguncularia</i> <i>racemosa</i>		12	1.12	20.09	34.23	26.78	1082	Caribe	139,069	0.56	16,50
Agua	-		188	4.02	19.38	33.38	26.22	2719		1,942,056	0.66	

* Referencias

- 1 Arcila-Cardona, A.M., Valderrama, A.C., & Chacón de Ulloa, P. 2012. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 13(2):82-101.
- 2 Armenteras, D., & Rodríguez, N. (Eds). 2007. Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá. D.C. Colombia. 174 pp

- 3 Cantillo-H, E., & Rangel-Ch, J. O. , J. O. Aspectos de la estructura y del patrón de riqueza de la vegetación arbórea del trapecio amazónico. Pg55
- 4 Castaño, C. (Eds).2002. Páramos y Ecosistemas Alto andinos de Colombia en Condición Hotspot y Global Climatic Tensor. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia. 387 pp
- 5 Corpoguajira. 2011. Atlas Ambiental del departamento de la Guajira. Riohacha.
- 6 Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds). 2013. Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- 7 Díaz, J.M. 2006. Bosque Seco Tropical Colombia. Banco de Occidente, I/M Editores. Cali, Colombia.
- 8 Etter (2001)
- 9 Etter, A. 1993. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. Memorias del primer taller de cobertura vegetal. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, SIG-PAFC (Sistema de Información Geográfica-Plan de Acción Forestal para Colombia). Bogotá, Colombia.
- 10 Etter, A., Crizón, I., & Sarmiento, A. 1997. Modelo de análisis espacial para la evaluación económico-ambiental del sistema extractivo de la fibra de Chiqui-Chiqui en la Amazonia Colombiana.
- 11 Etter, A., Crizón, I., Romero, M., Sarmiento, A., Imamoto, M., & Fernandez, E. 2001. La extracción de la fibra del Chiqui-Chiqui en la Amazonia Colombiana. (I. Crizon, Ed.) (1era edici). Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales y Rurales.
- 12 Fajardo M, D., Fondo Fen Colombia, & Urbina, F. 1998. Colombia Orinoco. pp. 103-133.
- 13 Figueroa, Y., & Galeano, G. 2004. Guía Ilustrada de la flora del Desierto de la Tatacoa Huila, Colombia. Acta biol. Colomb 9 (2) 88 pp
- 14 FigueroA-C., Y. 2004. Guía ilustrada de la Flora del desierto de La Tatacoa, Huila- Colombia. Trabajo de grado. Instituto de Ciencias Naturales-Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia (inédito). Bogotá.
- 15 Gentry A.H. 1995. Diversity and floristic composition of Neotropical dry forests. Páginas 146–194 en S.H. Bullock, H. A. Money H.A. y E. Medina, editores. Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- 16 Giraldo-Cañas, Diego. Catálogo de las gramíneas de la región Caribe Colombiana. Pg 319
- 17 Global Invasive Species Database. 2017. Species profile: Melinis minutiflora. Downloaded from <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Melinis+minutiflora> on 28-07-2017.
- 18 Gómez, M.F., Moreno, L.A., Andrade, G.I. y Rueda, C. (Eds.). 2016. Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia
- 19 Havstad, K. M., Huenneke, L. F., & Schlesinger, W. H. 2006. Structure and Function of a Chihuahuan Desert Ecosystem: The Jornada Basin Long-Term Ecological Research Site. New York: Oxford University Press.
- 20 Hermelin, M. 2015. Landscapes and Landforms of Colombia. New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11800-0>

- 21 Hernández Camacho, J. y H. Sánchez P. 1992. Biomas Terrestres de Colombia. Páginas 153–190 en G. Halffter, editor. La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. CYTED-D. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Instituto de Ecología, A.C. México. Ciudad de México, México.
- 22 Hernández, C. J., T. Walschburger B., R. Ortiz Q. y A. Hurtado G. 1992. Origen y distribución de la biota suramericana y colombiana. Páginas 55–104 en G. Halffter, editor. La diversidad biológica de Iberoamérica I. CYTED-D. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Instituto de Ecología, A.C., México. Ciudad de México, México.
- 23 Hoffmann, W.A., V. M. P. C. Lucatelli, F. J. Silva, I. N. C. Azeuedo, M. da S. Marinho, A. M. S. Albuquerque, A. de O. Lopes y S. P. Moreira. 2004. Impact of the invasive alien grass *Melinis minutiflora* at the savanna-forest ecotone in the Brazilian Cerrado. *Diversity and Distributions* 10: 99-103
- 24 IDEAM. 2002. Páramos y ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HotSpot y Global Climatic Tensor. Bogotá.
- 25 IDEAM. 2012. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Bogotá, D.C., 344 páginas.
- 26 Instituto Alexander von Humboldt, Programa de Inventario de la Biodiversidad (IAVH), 1998. El bosque seco tropical (BST) en Colombia. Grupo de exploraciones y monitoreo ambiental, Instituto Alexander von Humboldt, Villa de Leyva, Colombia
- 27 Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), I. A. de I. 2006. Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana (Primera ed). Bogotá.
- 28 Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). 2007. Flora del Escudo Guayanés en Inírida (Dairon Cárdenas). Bogotá.
- 29 Justiniano, M. J., & T. S. Fredericksen. 2000. Phenology of tree species in Bolivian dry forests. *Biotropica* 32:276– 281.
- 30 Linares-Palomino, R., A.T. Oliveira-Filho, y R.T. Pennington. 2011. Neotropical seasonally dry forests: diversity, endemism, and biogeography of woody plants. Páginas 3–21 en R. Dirzo, H.S. Young, H.A. Mooney, y G. Ceballos, editores. *Seasonally Dry Tropical Forest*. Island Press, Washington, DC, EE.UU.
- 31 Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos, y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33:491–505.
- 32 Ministerio del Medio Ambiente. 2000. Primer informe Nacional de Implementación de la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la sequía (Primera ed). Bogotá.
- 33 Minorta-Cely, Vladimir, Rangel-Ch, J, O., J. Orlando. 2014. La Riqueza y la diversidad de las plantas con flores de la Orinoquia colombiana. P 237
- 34 Molano, J. 1964. Zonas áridas de Colombia: Contribución al estudio de su Geografía Económica y Humana. Bogotá.
- 35 Mora-Fernández C. & Peñuela-Recio L. (Eds.) 2013. Salud Ecosistémica de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia. Yoluka ONG, fundación de investigación en biodiversidad y conservación, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol S.A. 150pp.

- 36 Mora-Fernández, C., Peñuela-Recio, L., & Castro-lima, F. 2015. Estado del conocimiento de los ecosistemas de las sabanas inundables en la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia-Universidad de Los Llanos*, 19(2), 253–271.
- 37 Noy-Meir, I. 1973. Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 25–51.
- 38 Osorio-Peláez, C., C. A. Lasso y F. Trujillo (Editores). 2015. XIII. Aplicación de criterios bioecológicos para la identificación, caracterización y establecimiento de límites funcionales en humedales de las sabanas
- 39 Osorio-Peláez, C., C. A. Lasso y F. Trujillo (Editores). 2015. XIII. Aplicación de criterios bioecológicos para la identificación, caracterización y establecimiento de límites funcionales en humedales de las sabanas inundables de la Orinoquia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia, 426 pp
- 40 Peña-Claros, M., L. Poorter, A. Alarcón, G. Blate, U. Choque, T. S. Fredericksen, M. J. Justiniano, C. Leño, J. Carlos Licona, W. Pariona, F. E. Putz, L. Quevedo, y M. Toledo. 2012. Soil effects on forest structure and diversity in a moist and a dry tropical forest. *Biotropica* 44:276–283.
- 41 Pennington, R. T., D. E. Prado, y C. A. Pendry. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27:261–273.
- 42 Pennington, R. T., M. Lavin, y A. Oliveira-Filho. 2009. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40:437–457.
- 43 Pizano, C y H. García (Editores). 2014. El Bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.
- 44 Prieto-C, A., Rudas-Ll, A., Rangel-Ch, J, O. , J, O. , Gónima-G, L., Serrano, H. 2011. La vegetación del Darién colombiano: una aproximación histórica aplicada a la interpretación satelital y videográfica.
- 45 Ramírez-Padilla, B., Macías-Pinto, D., & Varona-Balcazar, G. 2015. Lista comentada de plantas vasculares del valle seco del río Patía, suroccidente de Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2).
- 46 Rangel Ch. J Orlando (ed). Colombia diversidad biótica XIV. La región de la Orinoquia de Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales. 895pp. Bogotá D.C.
- 47 Rangel-Ch, J, O., J, O.1998. Flora Orinoquense. En: Domínguez, C. (Ed.). Colombia Orinoco, Bogotá. Fondo FEN. pp. 103-133.
- 48 Rangel-Ch, J, O. 2000. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D. C. 902p.
- 49 Rangel-Ch, J, O. 2008. Colombia Diversidad Biótica VII: Vegetación, Palinología y Paleoecología de la Amazonia colombiana. ARFO Editores e impresores Ltda. Bogotá, D. C. 423p.
- 50 Rangel-Ch, J, O. 2012. La vegetación de la región caribe de Colombia: composición florística y aspectos de la estructura. Pg 365
- 51 Rangel-Ch, J, O., J.O. 2011. Ecosistemas del Chocó biogeográfico: Síntesis final.
- 52 Rangel-Ch, J, O.2010. Colombia diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad-Ecología y manejo ambiental. Bogotá. 816 pp.
- 53 Rangel-CH, J.O., Lowy-C, P., & Aguilar, M. 2011. Colombia Diversidad Biótica I.

- 54 Rangel-Ch, O. 2004. Ecosistemas del Chocó biogeográfico: síntesis final. 937-976 pp. En: J.O. Rangel-Ch. (ed.), *Diversidad Biótica IV. El chocó Biogeográfico/Costa Pacífica*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Conservación Internacional. Bogotá, D.C. pp.997
- 55 Rodríguez, S., & Rodríguez, G. 2009. *Geomorphology and Biogeography of Tropical Deserts*. (EOLSS, Ed.).
- 56 Rueda- Almoncid, V. 1995. *Desiertos zonas áridas y semiáridas de Colombia (1era edición)*. Cali: Banco de Occidente. 207 pp.
- 57 Sanmartín-Sierra, D., Angarita-Hernández, D., & Mercado-Gómez, J. 2016. Estructura y composición florística del bosque seco tropical de Sanguaré-Sucre (Colombia). *Ciencia En Desarrollo*, 7(2), 43–56.
- 58 Sarmiento, C., Cadena, M., Sarmiento, J., Zapata y O. León. 2013. Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- 59 Ulloa-Delgado, Giovanni Andrés. 2016. Aspectos ecológicos del bosque seco tropical en el Caribe colombiano. Bogotá: Tropenbos Internacional Colombia & Fondo Patrimonio Natural.
- 60 Van Der Hammen, T. 1998. Plan ambiental de la Cuenca Alta del río Bogotá (Análisis y Orientaciones para el Ordenamiento Territorial). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, 142 pp
- 61 Van Der Hammen, T., J. H. Werner, y H. van Dommelen. 1973. Palynological record of the upheaval of the northern Andes: a study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombia Eastern Cordillera and the early evolution of its high-Andean biota. *Review of Palaeobotany and Palynology* 16: 1–122.
- 62 Vargas, C. R. 2001. Geología del Desierto de La Tatacoa. Págs. 41-51 en: A. Olaya, M. Sánchez. & J. C. Acebedo (eds.). *La Tatacoa, ecosistema estratégico de Colombia*. Edit. Universidad Surcolombiana. Neiva, Huila.
- 63 Vargas-Figueroa, J. A., González, A., Barona, E., & Bolívar, W. 2016. Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical y de dos zonas con actividad antrópica en La Dorada y Victoria, Caldas. *Revista de Ciencias*, 20(2), 13–60.
- 64 Villarroel, A. C., T. Setoguchi, J. Brieve & C. Macía. 1996. Geology of the La Tatacoa desert (Huila, Colombia): precisions on the stratigraphy of the Honda Group, the evolution of the Patá High, and the presence of the La Venta fauna. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy* 58 (1-2): 41-66.

Anexo 6. Protocolo de uso de la herramienta **EcoRedList_Toolbox**

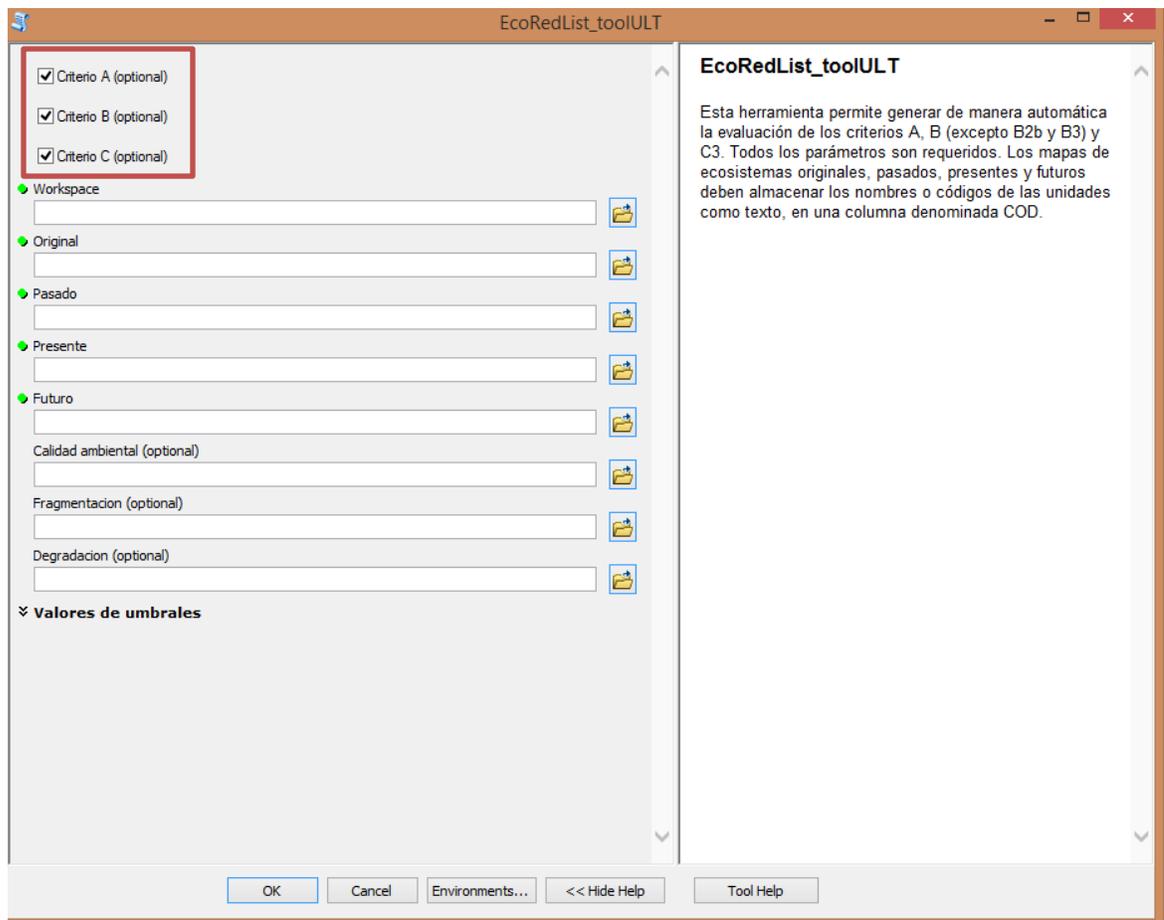
Paulo Arturo Arévalo (parevalo@bu.edu)

Paula Andrea Amaya (p.amaya@javeriana.edu.co)

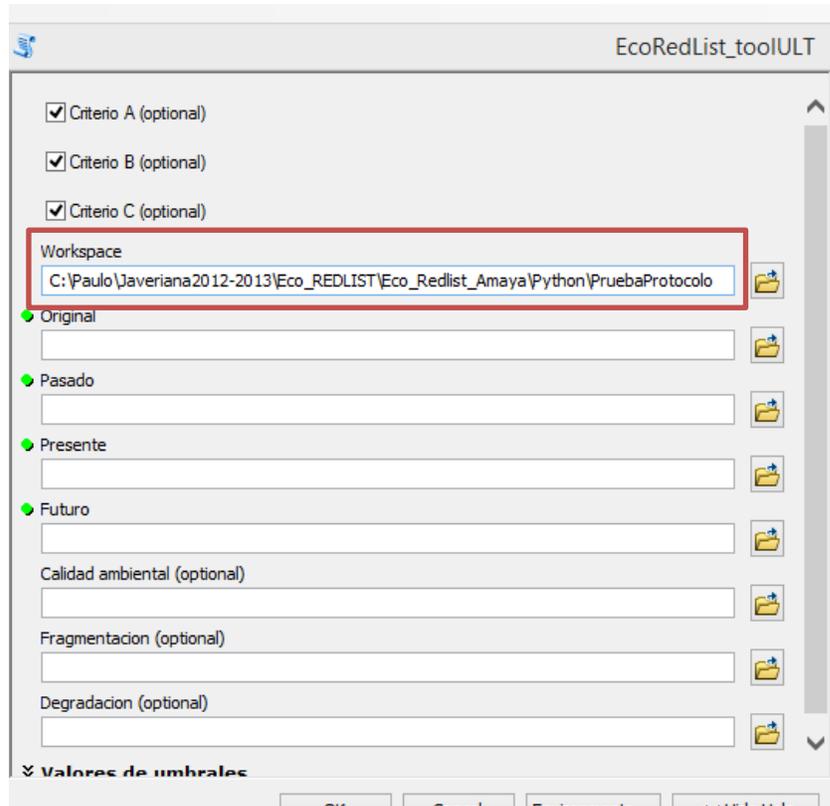
Andres Etter (aetter@javeriana.edu.co)

© Departamento de Ecología y Territorio Pontificia Universidad Javeriana.

1. Abrir la herramienta desde el Toolbox, aparecerá la siguiente pantalla principal. Marque las casillas de los criterios que desee evaluar.



2. En la casilla de workspace se debe cargar la dirección donde se quieren obtener los resultados, la cual debe ser la misma donde están los archivos de entrada. Todos los archivos deben encontrarse en la misma dirección.



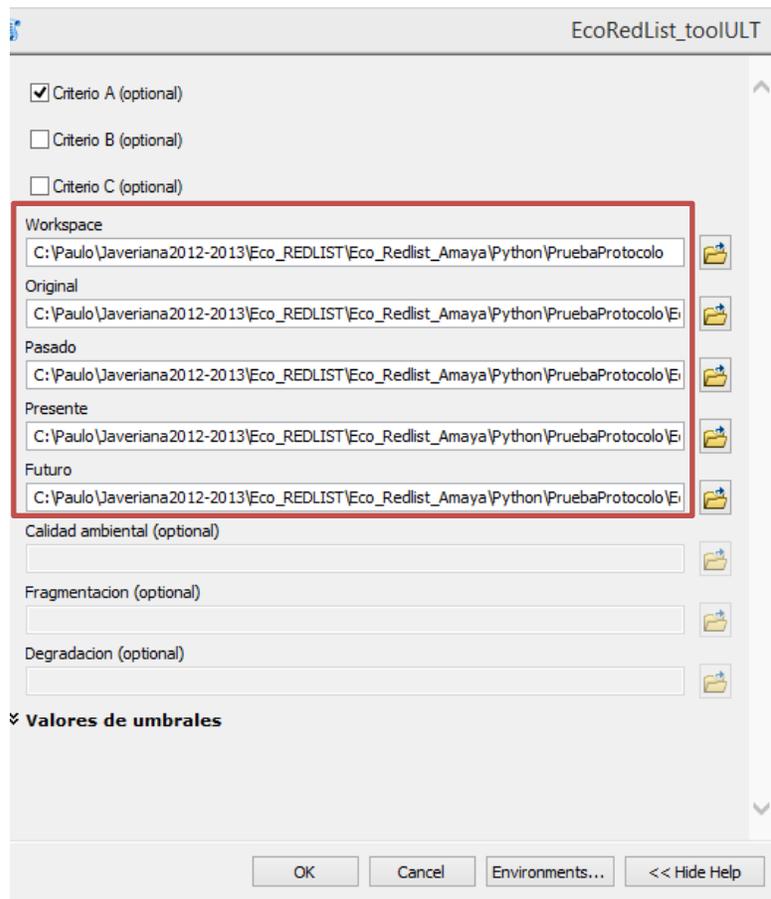
Visualización general de la herramienta EcoRedList_Toolbox con especificación de la casilla de Workspace.

3. Todos los archivos de entrada (Original, Pasado, Presente y Futuro) deben contener una columna que contengan los códigos de los ecosistemas y la columna se debe llamar COD. En los shp deben haberse calculado las áreas de cada polígono la columna debe llamarse Shape_Area.

Table					
Eco2012					
FID	Shape *	COD	Shape_Leng	Shape_Area	
0	Polygon	10/11	7382.430042	3480255.29082	
1	Polygon	10/11	9074.30456	4260729.52234	
2	Polygon	10/11	11079.494301	4904491.30671	
3	Polygon	10/11	5022.428832	1381935.38269	
4	Polygon	10/11	8361.03076	3641968.12232	
5	Polygon	10/11	9798.375943	5034793.78931	

Tabla de atributos que debe contener una columna titulada COD.

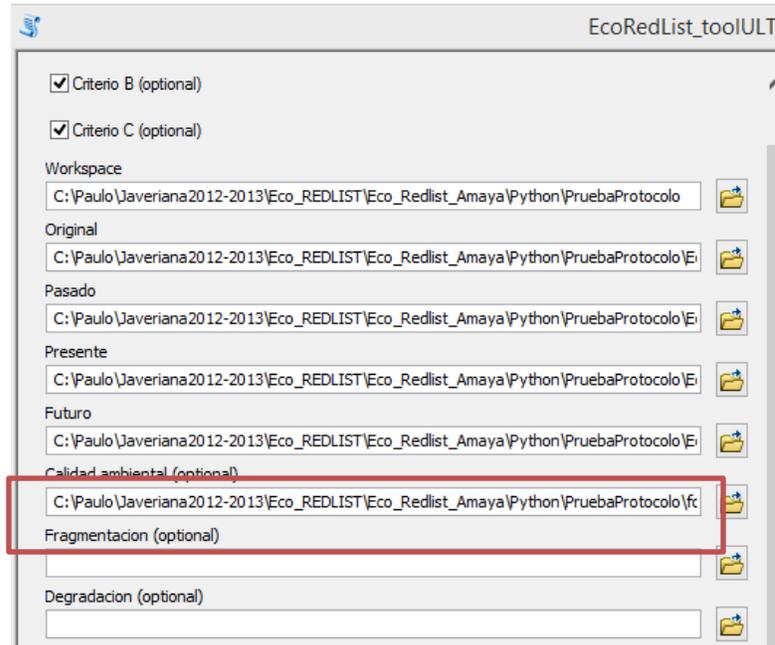
4. A continuación se deben cargar las siguientes capas:
- Archivo shapefile (shp) con las unidades de ecosistemas potenciales originales (1750).
 - Archivo shp con las unidades de ecosistemas remanentes en un periodo comprendido en los últimos 50 años. (e.g. 1990).
 - Archivo shp con las unidades de ecosistemas remanentes actuales o más recientes (e.g. 2012).
 - Archivo shp con las unidades de ecosistemas proyectadas en un periodo de máximo 50 años en el futuro (e.g. 2030)



Visualización de la herramienta EcoRedList_Toolbox con especificación de la introducción de la capas Original, Pasado, Presente y Fututo.

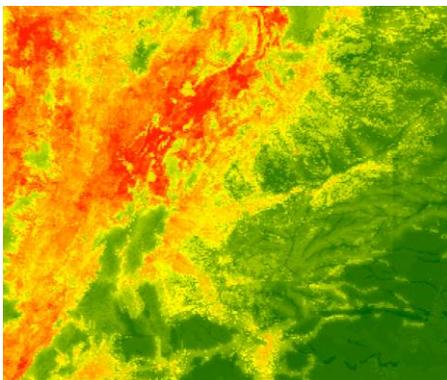
*Habiendo cargado estos archivos ya se puede evaluar el criterio A, presionar OK.

- Si usted desea evaluar los criterios B y C deberá adicionar otros archivos de entrada. Introduzca un shp que sea una medida de la calidad ambiental (parámetro requerido para la evaluación del criterio B).



Visualización de la herramienta EcoRedList_Toolbox con especificación de la introducción de la capa de calidad ambiental

Para el caso de Colombia se utilizó el shp de huella humana, el archivo debe estar en formato raster que presente un índice del nivel de huella humana (o una medida de calidad ambiental) para toda la extensión del área evaluada. Los valores deben estar en una escala de 0 a 100, donde 0 corresponde a áreas sin presencia de huella humana (e.g. áreas no transformadas), y 100 corresponde a áreas completamente transformadas. En la imagen se muestra como se ve el shp y la tabla de la huella humana en Colombia



Rowid	VALUE *	COUNT
18	33	4354
19	34	4337
20	36	4006
21	37	3808
22	38	3964
23	40	3814
24	41	4063
25	42	4284
26	44	4706
27	45	4945
28	46	5228
29	48	5536
30	49	5844

Visualización de la capa de huella humana.

6. Introduzca un shp que sea una medida de alteración de las interacciones bióticas (parámetro requerido para la evaluación del criterio B).



Visualización de la herramienta EcoRedList_Toolbox con especificación de la introducción de la capa de fragmentación.

Anexo 7. Relación entre las Key Biodiversity Areas con las categorías de amenaza de la Evaluación final de los ecosistemas.

N°	Nombre KBA	Área KBA (ha)	Proporción Área transformada	Proporción Área KBA en PNN	Proporción Área KBA en otras áreas protegidas públicas y privadas	Proporción área KBA en CR	Proporción área KBA en EN	Proporción área KBA en VU
1	Reserva Natural El Garcero y Alrededores	17,437	0.90	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
2	Eco-Parque Los Besotes	1,660	0.98	0.00	0.44	0.02	0.00	0.00
3	Zona deltáica-estuarina del Río Sinú	18,629	0.55	0.00	0.90	0.00	0.33	0.00
4	Capurganá	1,460	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Parque Nacional Natural Macuira	28,840	0.67	0.85	0.00	0.33	0.00	0.00
6	Región Ecodeltáica Fluvio-Estuarina del Canal del Dique	43,067	0.58	0.10	0.00	0.05	0.14	0.00
7	Parque Nacional Natural Amacayacu	266,293	0.01	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Parque Nacional Natural Los Katíos	80,472	0.26	0.94	0.00	0.00	0.06	0.16
9	Santuario de Fauna y Flora Los Colorados	1,184	0.65	0.72	0.00	0.35	0.00	0.00
10	Complejo de Humedales Costeros de la Guajira	217,760	0.50	0.09	0.02	0.50	0.00	0.00
11	Ciénaga de Ayapel	27,055	0.45	0.00	0.99	0.00	0.00	0.06
12	Parque Nacional Natural Tayrona	21,133	0.54	0.86	0.00	0.46	0.00	0.00
13	Parque Nacional Natural Ensenada de Utria	77,189	0.29	0.80	0.00	0.00	0.00	0.63
14	Complejo cenagoso de la margen occidental del Río Sinú	10,011	0.87	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
15	Reserva de Biosfera RAMSAR Ciénaga Grande, Isla de Salamanca y Sabana Grande	249,907	0.46	0.34	0.00	0.02	0.11	0.00
16	Complejo de Ciénagas del sur de Cesar y Bolívar	13,109	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
17	Riberas de la Cuenca Baja del Río Inírida	5,076	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
18	Isla Mocagua y Zaragocilla	2,496	0.32	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
19	Parque Nacional Natural Chiribiquete	1,303,996	0.02	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Estación Biológica Mosiro-Itajura	53,102	0.03	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Riberas del Río Duda	12,787	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Isla Mirití	1,061	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Parque Nacional Natural Sanquianga	88,804	0.19	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Parque Nacional Natural El Tuparro	555,818	0.12	0.93	0.00	0.00	0.00	0.12
25	Lagos de Yahuaraca e Isla Ronda	2,138	0.47	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00
26	Delta del Río San Juan	80,455	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	Jardín de las Delicias	312	0.60	0.00	0.00	0.08	0.00	0.32
28	Asarrio	1,586	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	Río Saija	42,567	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

N°	Nombre KBA	Área KBA (ha)	Proporción Área transformada	Proporción Área KBA en PNN	Proporción Área KBA en otras áreas protegidas públicas y privadas	Proporción área KBA en CR	Proporción área KBA en EN	Proporción área KBA en VU
30	Parque Wisirare	1,296	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
31	Taparas	36,533	0.05	0.00	0.00	0.00	0.90	0.04
32	Chaviripa-El Rubí	2,924	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	0.78
33	Reservas de la vereda Altagracia	1,347	0.18	0.00	0.88	0.00	0.00	0.79
34	Bojonawi	5,170	0.11	0.00	0.49	0.00	0.00	0.09
35	Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena	628,850	0.07	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
36	Cañón del Río Guatiquía	30,002	0.51	0.02	0.10	0.02	0.00	0.45
37	Cerro La Judía	8,556	0.43	0.00	0.43	0.33	0.00	0.00
38	Cerros Occidentales de Tabio y Tenjo	410	0.80	0.00	0.00	0.15	0.05	0.00
39	Cañón del Río Combeima	6,640	0.68	0.01	0.03	0.00	0.00	0.19
40	Cuenca del Río Jiménez	9,072	0.93	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01
41	Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos	8,912	0.06	0.75	0.24	0.00	0.00	0.17
42	Parque Nacional Natural Las Orquídeas	29,729	0.12	0.92	0.05	0.00	0.00	0.37
43	Parque Nacional Natural Farallones de Cali	205,683	0.05	0.92	0.32	0.00	0.00	0.59
44	Valle de San Salvador	59,340	0.51	0.54	0.00	0.03	0.00	0.43
45	Gravilleras del Valle del Río Siecha	1,978	0.80	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
46	Complejo Lacustre de Fúquene, Cucunubá y Palacio	4,074	0.73	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
47	Embalse de Punchiná y su zona de protección	1,194	0.29	0.00	1.00	0.00	0.00	0.42
48	Reserva Biológica Cachalú	1,019	0.16	0.00	0.99	0.00	0.00	0.06
49	Reserva Natural Semillas de Agua	1,116	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	Embalse de San Lorenzo y Jaguas	2,244	0.23	0.00	1.00	0.00	0.00	0.33
51	Páramos y Bosques Altoandinos de Génova	11,044	0.20	0.00	0.54	0.00	0.00	0.34
52	Humedales de la Sabana de Bogotá	18,053	1.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
53	Reserva Natural Laguna de Sonso	825	0.89	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
54	Reserva Hidrográfica, Forestal y Parque Ecológico de Río Blanco	3,768	0.46	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00
55	Valle del Río Frío	37,222	0.59	0.14	0.00	0.00	0.00	0.39
56	Cuchilla de San Lorenzo	55,213	0.21	0.20	0.01	0.08	0.00	0.70
57	Región del Alto Calima	19,400	0.11	0.00	0.19	0.00	0.00	0.60
58	Cañón del Río Barbas y Bremen	9,765	0.57	0.00	0.98	0.00	0.00	0.25
59	Cerro Pintado de la Serranía del Perijá	9,631	0.49	0.89	0.00	0.39	0.00	0.11
60	Serranía de las Quinchas	86,035	0.36	0.00	0.67	0.02	0.09	0.53
61	Reserva Natural Meremberg	1,965	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
62	La Forzosa-Santa Gertrudis	3,436	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78

N°	Nombre KBA	Área KBA (ha)	Proporción Área transformada	Proporción Área KBA en PNN	Proporción Área KBA en otras áreas protegidas públicas y privadas	Proporción área KBA en CR	Proporción área KBA en EN	Proporción área KBA en VU
63	Reserva Natural La Planada	3,146	0.11	0.00	0.66	0.00	0.00	0.78
64	Lago Cumbal	345	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	Parque Nacional Natural Nevado del Huila	157,159	0.03	0.93	0.01	0.00	0.00	0.03
66	Parque Nacional Natural Paramillo	517,657	0.11	0.97	0.00	0.12	0.00	0.28
67	Parque Nacional Natural Tatamá	51,496	0.02	0.62	0.00	0.00	0.00	0.34
68	Pueblo Bello	994	0.55	0.00	0.00	0.35	0.00	0.10
69	Reserva Natural El Pangán	7,132	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
70	Reserva Natural Tambito	113	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66
71	Reserva Regional Bajo Cauca Nechí	118,386	0.28	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
72	Serranía de los Churumbelos	153,576	0.05	0.55	0.01	0.00	0.00	0.64
73	Serranía de San Lucas	674,522	0.26	0.61	0.00	0.00	0.03	0.51
74	Lagunas Bombona y Vancouver	6,381	0.53	0.20	0.06	0.00	0.00	0.00
75	Reservas Comunitarias de Roncesvalles	36,511	0.26	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
76	Cañon del río Alicante	2,762	0.55	0.00	0.71	0.00	0.02	0.43
77	Parque Nacional Natural Munchique y extensión sur	72,680	0.15	0.62	0.00	0.00	0.00	0.45
78	Alto Quindío	4,002	0.15	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00
79	Bosques del Oriente de Risaralda	24,054	0.16	0.33	0.66	0.00	0.00	0.04
80	Bosques de Tolemaida, Piscilago y alrededores	20,012	0.99	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
81	Reserva Natural Ibanasca	2,091	0.08	0.51	0.57	0.00	0.00	0.11
82	Finca la Betulia Reserva la Patasola	1,306	0.20	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
83	Reserva Natural Río Ñambí	7,943	0.29	0.00	0.16	0.00	0.00	0.61
84	San Sebastián	5,686	0.17	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00
85	Bosques Montanos del Sur de Antioquia	172,396	0.33	0.00	0.30	0.00	0.00	0.20
86	Alto de Pisonés	1,192	0.10	0.00	0.09	0.00	0.00	0.61
87	Reserva Forestal Yotoco	450	0.39	0.00	0.93	0.61	0.00	0.00
88	Refugio Río Claro	450	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
89	La Victoria	662	0.75	0.00	0.21	0.00	0.00	0.25
90	Agua de la Virgen	100	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
91	Cuenca del Río Toche	21,403	0.37	0.04	0.01	0.00	0.00	0.05
92	Parque Nacional Natural Puracé	75,200	0.09	0.91	0.01	0.00	0.00	0.10
93	Cuenca del Río San Miguel	8,098	0.51	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09
94	Finca Paraguay	10,951	0.69	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
95	Bosques Secos del Valle del Río Chicamocha	334,160	0.82	0.00	0.20	0.06	0.00	0.05
96	Soatá	997	0.57	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00

N°	Nombre KBA	Área KBA (ha)	Proporción Área transformada	Proporción Área KBA en PNN	Proporción Área KBA en otras áreas protegidas públicas y privadas	Proporción área KBA en CR	Proporción área KBA en EN	Proporción área KBA en VU
97	Laguna de la Cocha	58,484	0.49	0.00	0.44	0.01	0.00	0.29
98	Parque Nacional Natural de Pisba	49,789	0.66	0.67	0.02	0.00	0.00	0.17
99	Parque Nacional Natural El Cocuy	308,418	0.16	0.97	0.00	0.00	0.00	0.47
100	Parque Nacional Natural Sumapaz	211,884	0.19	0.96	0.00	0.00	0.00	0.34
101	Parque Nacional Natural Tamá	52,203	0.14	0.92	0.00	0.04	0.00	0.67
102	Parque Natural Regional Páramo del Duende	28,325	0.05	0.00	0.33	0.00	0.00	0.83
103	Reserva El Oso	4,569	0.07	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00
104	Santuario de Fauna y Flora Galeras	8,206	0.20	0.92	0.00	0.00	0.00	0.30
105	Serranía de las Minas	99,966	0.48	0.06	0.29	0.00	0.00	0.04
106	Serranía de los Paraguas	150,118	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
107	Cuenca del Río Hereje	7,375	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108	Bosque de San Antonio/Km 18	5,332	0.50	0.00	0.42	0.00	0.00	0.50
109	Bosques de la Falla del Tequendama	10,990	0.75	0.00	0.56	0.01	0.00	0.03
110	Enclave Seco del Río Dagua	7,549	0.97	0.00	0.54	0.01	0.00	0.00
111	Laguna de Tota	5,392	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	Páramo del Sur de Antioquia	12,099	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	Serranía del Pinche	4,427	0.06	0.00	0.24	0.00	0.00	0.04
114	9 km sur de Valdivia	6,834	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
115	Alto de Oso	306	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
116	Cañon del río Guatiquia y alrededores	28,760	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
117	Carretera Ramiriqui-Zetaquirá	9,009	0.85	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09
118	Cerro de Pan de Azúcar	15,872	0.52	0.00	0.90	0.00	0.00	0.48
119	Coromoro	14,959	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
120	Cuenca Hidrográfica del río San Francisco y alrededores	4,727	0.88	0.00	0.55	0.01	0.00	0.11
121	Fusagasuga	8,058	0.93	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00
122	Hacienda La Victoria, Cordillera Oriental	11,846	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
123	La Empalada	9,125	0.82	0.00	0.23	0.00	0.00	0.08
124	La Salina	7,541	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76
125	Municipio de Pandi	2,894	0.77	0.00	0.00	0.22	0.00	0.01
126	Orquideas - Musinga - Carauta	60,188	0.67	0.01	0.48	0.00	0.00	0.19
127	Parque Nacional Natural Chingaza y alrededores	83,654	0.13	0.86	0.03	0.00	0.03	0.40
128	Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos	273,631	0.05	0.99	0.00	0.00	0.00	0.46
129	Sierra Nevada de Santa Marta National Natural Park y alrededores	506,474	0.36	0.66	0.00	0.01	0.00	0.43

N°	Nombre KBA	Área KBA (ha)	Proporción Área transformada	Proporción Área KBA en PNN	Proporción Área KBA en otras áreas protegidas públicas y privadas	Proporción área KBA en CR	Proporción área KBA en EN	Proporción área KBA en VU
130	Pueblo Viejo de Ura	13,640	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	Páramo Urrao	29,849	0.20	0.03	0.90	0.00	0.00	0.09
132	Páramo de Sonsón	62,532	0.69	0.00	0.05	0.00	0.00	0.04
133	San Isidro	9,649	0.58	0.00	0.13	0.00	0.16	0.25
134	Santo Domingo	6,862	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
135	Selva de Florencia	25,387	0.46	0.37	0.00	0.00	0.00	0.43
136	Serranía de los Yarigués	242,447	0.44	0.24	0.65	0.01	0.06	0.39
137	Vereda Las Minas	9,939	0.31	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00
138	Vereda el Llano	2,869	0.96	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
139	Villavicencio	3,327	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
140	Valle de Sibundoy y Laguna de la Cocha	152,857	0.10	0.03	0.15	0.00	0.00	0.35

Colaboradores

Juliana Cortés
Camila Pacheco
Diego Soler
Andrés Páez
Mauricio Vejarano
Miguel A. Cañón
Laura Eraso
Yaneth Muñoz

