

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE BOSQUES de Colombia a través de un análisis de fragmentación



 GOBIERNO DE COLOMBIA

 MINAMBIENTE

 IDEAM
Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

PROGRAMA
ONU-REDD



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



ONU
medio ambiente

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

Elaborado por:

Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBByC)
Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite (PDI)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS
Programa ONU-REDD Colombia

Organización de las Naciones Unidas para la
Alimentación y la Agricultura (FAO)

Bogotá, 2018

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o del MADS e IDEAM, juicio alguno sobre la condición jurídica o el nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO, el MADS o el IDEAM los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los puntos de vista ni las políticas de la FAO, el MADS o el IDEAM.

ISBN 978-92-5-130581-2 (FAO)

ISBN 978-958-5489-01-1 (IDEAM)

© FAO, MADS y IDEAM, 2018

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, descargar e imprimir el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a los derechos de traducción y adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán realizarse a través de www.fao.org/contact-us/licence-request o dirigirse a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications/es) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico dirigida a publications-sales@fao.org.

FOTOGRAFÍA DE LA CARÁTULA

©Cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos. 2018 - Imagen Landsat-8. 01/02/2016. La Macarena.



ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón
Presidente de la República

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Luis Gilberto Murillo
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Willer Guevara Hurtado
Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Yaneth Patricia Alegría Copete
Viceministra Ordenamiento Ambiental del Territorio

César Augusto Rey Ángel
Director Técnico de la Dirección de Bosques Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

Mariana Rojas Laserna
Directora Técnica de la Dirección de Cambio Climático

Angélica Mayolo Obregón
Jefe de Oficina de Asuntos Internacionales

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

Omar Franco
Director General

María Teresa Becerra Ramírez
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Diana Marcela Vargas Galvis
Subdirectora de Estudios Ambientales

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD

Martín Santiago
Coordinador Residente del Sistema de Naciones Unidas en Colombia - Representante Residente del PNUD

Pablo Ruiz Hiebra
Director de País

Inka Mattila
Directora de País Adjunta

Jimena Puyana Eraso
Gerente Nacional de Desarrollo Sostenible

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA – FAO

Rafael Zavala Gómez Del Campo
Representante en Colombia

Manuela Ángel
Oficial Nacional de Programas (E)

ONU MEDIO AMBIENTE

Gabriel Labbate
Oficial de Programa Senior

Juan Carlos Bello
Jefe de la Oficina en Colombia

UNIDAD COORDINADORA PROGRAMA NACIONAL ONU-REDD

Paola García García
Coordinadora General

Adriana Patricia Yepes Quintero
Enlace Técnico FAO

Ernesto Ome Álvarez
Enlace Técnico PNUD

Daniel Leguía Aliaga
Enlace Técnico ONU Medio Ambiente

Andrea Camacho Henao
Especialista Salvaguardas

Marcela Rodríguez Salguero
Especialista Comunicaciones y Gestión del Conocimiento

Larry Reyes González
Asistente Administrativo y Financiero

COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN

María Teresa Becerra Ramírez
Subdirectora Ecosistemas e Información Ambiental - IDEAM

Adriana Paola Barbosa Hernández
Coordinadora Grupo de Bosques - IDEAM

Edersson Cabrera Montenegro
Coordinador General – SMByC IDEAM

Gustavo Galindo García
Coordinador Componente Procesamiento Digital de Imágenes PDI – SMByC

Adriana Patricia Yepes Quintero
Enlace Técnico FAO - Programa ONU REDD

EDITORES

Juan Pablo Ramírez Delgado - *IDEAM*
Gustavo Galindo García - *IDEAM*
Adriana Patricia Yepes Quintero - *ONU-REDD*
Edersson Cabrera Montenegro - *IDEAM*

AUTORES

Juan Pablo Ramírez Delgado - *IDEAM*
Gustavo Galindo García - *IDEAM*
Adriana Patricia Yepes Quintero - *ONU-REDD*
Edersson Cabrera Montenegro - *IDEAM*

COLABORADORES

Lucio Santos Acuña - *Oficial Forestal, FAO Oficina Subregional para Mesoamérica*

PEER REVIEW

Erith Alexander Muñoz - *FAO*

COORDINACIÓN PROYECTO EDITORIAL

Marcela Rodríguez Salguero
Adriana Patricia Yepes Quintero

CÍTESE COMO:

Ramírez-Delgado J.P., Galindo G.A., Yepes A.P., Cabrera E. Estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá, 2018.

FOTOGRAFÍA DE LA CARÁTULA

©Cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos. 2018 - Imagen Landsat-8. 01/02/2016. La Macarena.

DISEÑO CARÁTULA

María Paula Leiva Luna

IMPRESIÓN Y ACABADOS

NUEVAS EDICIONES SAS

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

.Puntoaparte bookvertising

Dirección editorial

Andrés Barragán

Dirección de arte

Mateo L. Zúñiga y María Paula Leiva Luna

Diseño y Diagramación

Jeimmy Paola Segura

Ilustraciones

Sebastián Calderón

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de sus autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista ni las políticas del Programa ONU-REDD, la FAO, ONU Medio Ambiente o el PNUD.



AGRADECIMIENTOS

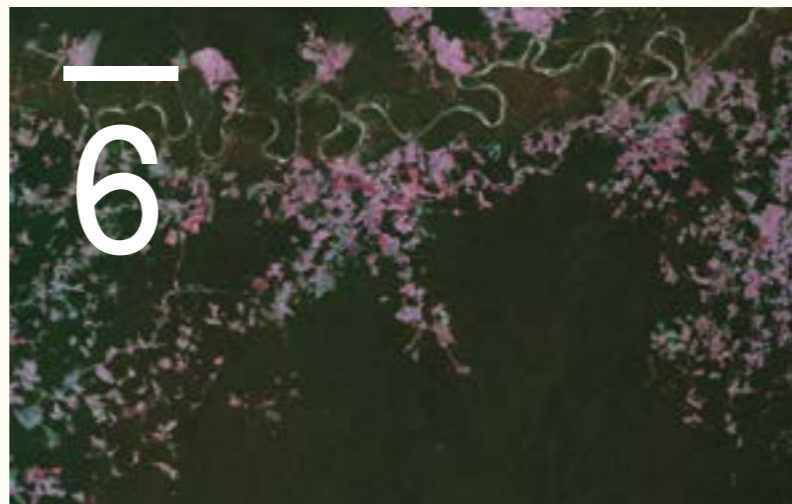
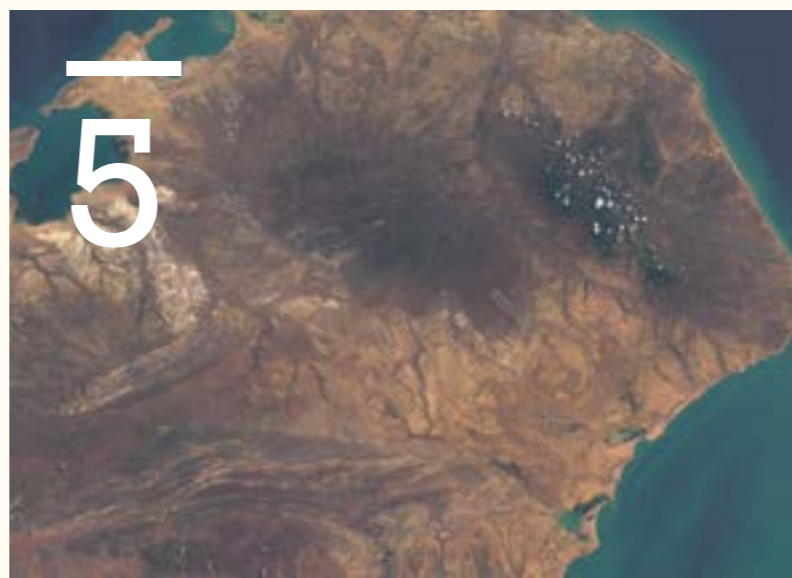
El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) agradece al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), al Programa ONU-REDD Colombia y a las agencias de las Naciones Unidas por su apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Los autores agradecen al equipo técnico del componente de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), por la generación de los insumos utilizados en esta investigación, a Aurélie Shapiro, por las recomendaciones realizadas sobre la metodología empleada, a María Saralux Valbuena, por su apoyo incondicional durante su desempeño como Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental del IDEAM, a Diana Marcela Vargas, por el apoyo prestado para el desarrollo de esta publicación en calidad de asesora del despacho del viceministro de ambiente, y a los revisores de las versiones preliminares de esta publicación, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

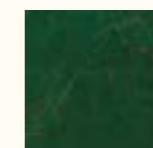
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

%	Porcentaje
<	Menor que
>	Mayor que
AIC	Akaike Information Criterion
ATSR-2	Second Along Track Scanning Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
Def.	Deforestación
Deg.	Degradación
<i>e.g.</i>	Del latín <i>exempli gratia</i> que significa “por ejemplo”
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
<i>et al.</i>	Del latín <i>et alii</i> que significa “y otros”
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus

GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPG	Guías de Buenas Prácticas
ha	Hectárea
I.E.	Del latín <i>id est</i> que significa “es decir”
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
LANDSAT	Land Remote-Sensing Satellite
LFT	Landscape Fragmentation Tool
m	Metro
MgC	Megagramos de carbono
MgCO ₂ e	Megagramos de dióxido de carbono equivalente
mm	Milímetro
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRV	Medición/Monitoreo, Reporte y Verificación
°	Grado
°C	Grado centígrado
OLI/TIRS	Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor
PDI	Procesamiento Digital de Imágenes
PFI	Paisajes Forestales Intactos
PgC	Petagramos de Carbono
PMSB	Programa Nacional de Monitoreo de Bosques y Áreas de Aptitud Forestal
PNN	Paques Nacionales Naturales de Colombia
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques, Aumento de las Reservas de Carbono, Conservación y Manejo Sostenible de los Bosques
SMBYC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
SNMB	Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques
SPOT-VGT	Satellite for Observation of Earth-Vegetation products
TM	Thematic Mapper
ZCIT	Zona de Confluencia Intertropical



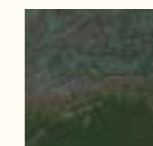
ÍNDICE



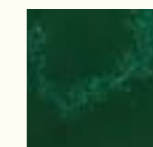
RESUMEN
PÁG. 1



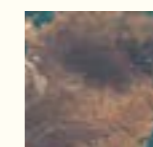
INTRODUCCIÓN
PÁG. 5



METODOLOGÍA
PÁG. 21



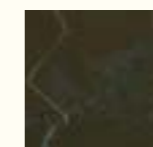
RESULTADOS
PÁG. 33



DISCUSIÓN
PÁG. 109



**CONCLUSIONES
Y REFERENCIAS**
PÁG. 115




ANEXOS
PÁG. 127



ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

RESUMEN

Imagen Landsat-8. 11/01/2016. Inírida.

 Cortesía del Servicio Geológico
de Estados Unidos. 2018

La dificultad de definir y cuantificar la degradación de bosques es una limitación que la mayoría de los países en desarrollo tienen para incluir compromisos de reducción de emisiones en el contexto del enfoque de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques, Aumento de las Reservas de Carbono, Conservación y Manejo Sostenible de los Bosques (REDD+). Dicha limitación ha constituido un desafío que ha llevado a los países en desarrollo a avanzar en aspectos técnicos para el monitoreo de dicho proceso.

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), el cual es liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y

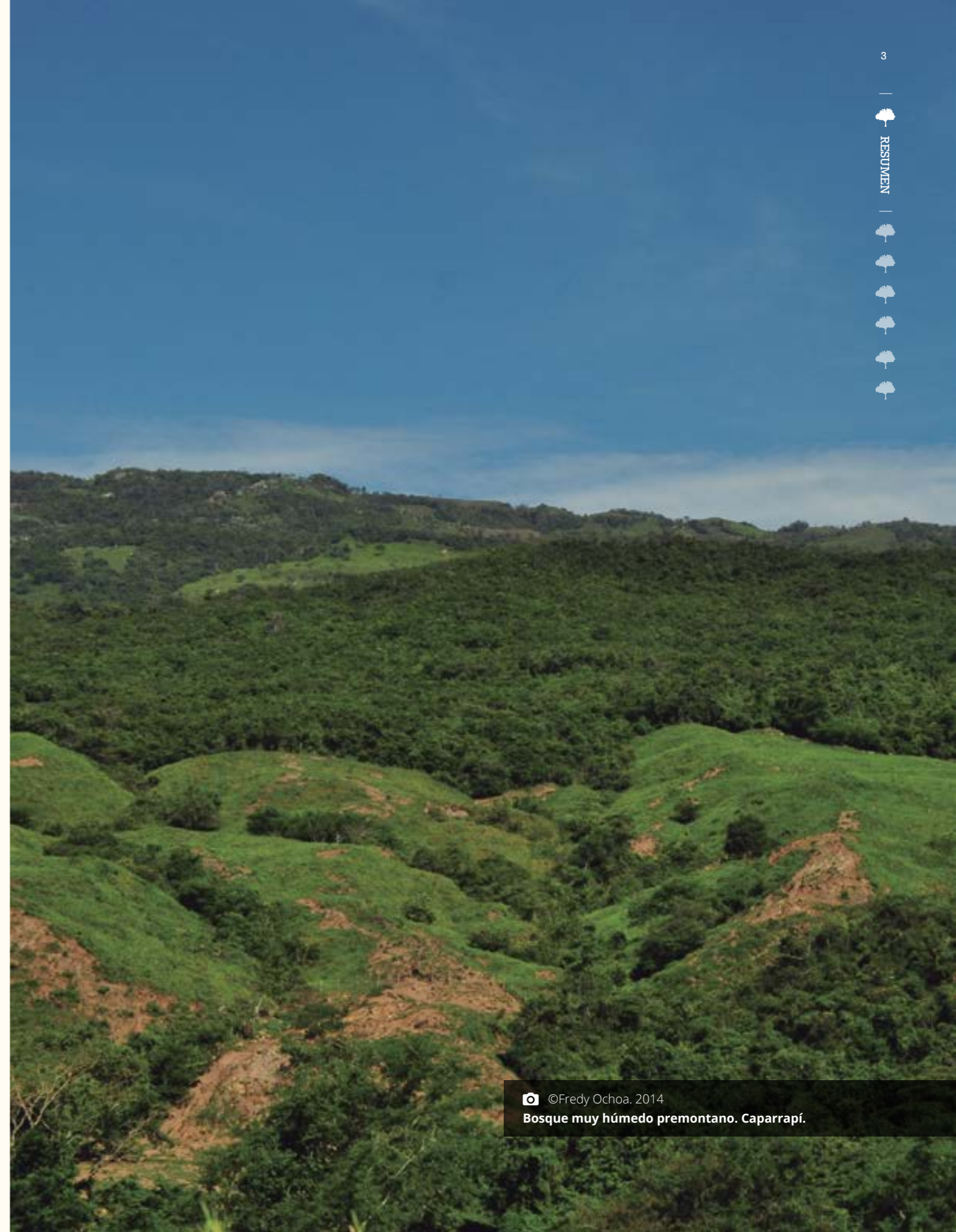
Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ha venido avanzando desde hace algunos años en la identificación y evaluación de metodologías que permitan estimar y monitorear la degradación forestal de Colombia. En este documento se describe de manera detallada una de estas metodologías, presentando resultados que indican que la degradación de bosques podría ser monitoreada indirectamente a través de un análisis de fragmentación.

Según esta metodología, las emisiones totales de degradación forestal de Colombia fueron en promedio de 50,67 millones de $\text{MgCO}_2\text{e/año}$ entre 2000 y 2015. De estas emisiones, la región Amazónica contribuyó en promedio con 45,67% (23,14 millones

de MgCO_2e al año), la región Andina con 29,80% (15,09 millones de MgCO_2e al año), la región Orinoquía con 5,59% (2,83 millones de MgCO_2e al año), la región Caribe con 8,18% (4,14 millones de MgCO_2e al año) y la región Pacífico con 10,76% (5,45 millones de MgCO_2e al año).

De acuerdo con lo anterior, el IDEAM ha trazado un plan de mejora para abordar desafíos técnicos a nivel nacional y tener en el mediano plazo una propuesta metodológica validada para la estimación de la degradación forestal de Colombia, la cual podría ser incorporada en el marco de operación del SMByC como insumo para los reportes de cambio climático generados por el país.

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), **ha venido avanzando en la identificación y evaluación de metodologías para la estimación y monitoreo de la degradación de bosques de Colombia desde hace algunos años.**



2

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

INTRODUCCIÓN


 Cortesía del Servicio Geológico de
Estados Unidos. 2018

Imagen Landsat-8. 04/02/2018. Ciénaga
Grande de Santa Marta.



De acuerdo a las decisiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la degradación de bosques es un proceso que debe ser considerado para la mitigación y adaptación al cambio climático en el contexto de las iniciativas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques, Aumento de las Reservas de Carbono, Conservación y Manejo Sostenible de los Bosques de los Países en Desarrollo (REDD+) (UNFCCC, 2010). Junto con la deforestación, la degradación forestal ha tenido consecuencias substanciales para la humanidad y la biodiversidad, y ha contribuido significativamente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Nepstad *et al.*, 1999; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2002; Parry *et al.*, 2007; Nasi y Van Vliet, 2009; Van der Werf *et al.*, 2009; Mery *et al.*, 2010; Houghton 2012; Smith *et al.*, 2014; Pearson *et al.*, 2017).

A nivel global, las perturbaciones forestales que llevan a la degradación, tales como la recolección de leña, el pastoreo en bosque, la tala selectiva insostenible y los incendios forestales (Asner *et al.*, 2008; Chazdon 2008; Murdiyarso *et al.*, 2008; Tavani *et al.*, 2009; Herold *et al.*, 2011a; Hosonuma *et al.*, 2012; Kissinger *et al.*, 2012; Thompson *et al.*, 2013; Pearson *et al.*, 2017), han afectado cerca de

100 millones de hectáreas de bosques al año (FAO, 2006, Nabuurs *et al.*, 2007) y más de 850 millones de hectáreas de bosques tropicales (ITTO, 2002).

De acuerdo con Houghton (2012), la degradación forestal ha representado del 10 al 40% de las emisiones netas de carbono de los bosques tropicales (1,4 PgC por año en promedio entre 1990 y 2010). Por su parte, Pearson y colaboradores (2017) afirman que las emisiones anuales de degradación forestal de 74 países en desarrollo, que cubren cerca de 2,2 billones de hectáreas de bosques, representaron 2,1 billones de toneladas de CO₂e entre 2005 y 2010, de las cuales 53% se derivaron de la tala selectiva, 30% de la recolección de leña y 17% de incendios forestales. Por otro lado, Asner y colaboradores (2010) reportan que la degradación forestal de la Amazonía del Perú aportó cerca de 47% más emisiones de carbono a la atmósfera que solo la deforestación entre 1999 y 2009 (Asner *et al.*, 2010).

En comparación con la deforestación, la estimación de las emisiones por degradación de bosques aún continúa siendo un reto, ya que este proceso implica cambios en la estructura del bosque y no en el uso del suelo (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Miettinen *et al.*, 2014; Morales-Barquero *et al.*, 2014; Bustamante *et al.*, 2015). A pesar

de que no todos los tipos de degradación de bosques pueden ser estimados y/o monitoreados con certeza a través de sensores remotos (e.g., la ocurrida a nivel de sotobosque) (De Sy *et al.*, 2012; Bustamante *et al.*, 2015), se han planteado tres estrategias para estimarla mediante el uso de estas herramientas: metodologías directas, metodologías indirectas y metodologías para el monitoreo de emisiones de carbono a partir de la quema de biomasa (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; GOFC-GOLD, 2014; Miettinen *et al.*, 2014).

Aunque estas estrategias son las únicas que podrían ofrecer información sobre las tendencias históricas en áreas donde no existen datos de campo, también se podrían ver obstaculizadas por la nubosidad (para el caso de los datos ópticos) y presentar limitaciones en cuanto a la capacidad técnica para detectar y registrar cambios en la cobertura de copa de los árboles (para cambios a escala fina) (Herold *et al.*, 2011a; Miettinen *et al.*, 2014). Además, las interpretaciones realizadas a través de estas estrategias podrían ser bastante demandantes en recursos, tener un alto grado de dificultad e incluso presentar altos niveles de incertidumbre e inconsistencias, especialmente para estimaciones a nivel nacional (Herold *et al.*, 2011a; Miettinen *et al.*, 2014).

La degradación de bosques hace referencia a la **reducción en las reservas de carbono de los bosques que continúan siendo bosques luego de una perturbación.**



©Juan Pablo Ramírez Delgado. 2014.
Bosque muy húmedo montano. Villa de Leyva.

Con las metodologías directas, las cuales se enfocan en detectar cambios en el dosel, pequeños claros y/o cambios estructurales como resultado de perturbaciones forestales (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Miettinen *et al.*, 2014), se ha explorado el potencial de los sensores remotos pasivos (datos ópticos) mediante la interpretación visual (*e.g.*, Stone y Lefebvre, 1998; Nepstad *et al.*, 1999; INPE, 2008) y el uso de diferentes indicadores tales como valores de respuesta espectral (*e.g.*, Asner *et al.*, 2002), índices de vegetación (*e.g.*, Souza *et al.*, 2005a; Matricardi *et al.*, 2010) o herramientas más avanzadas como análisis de mezcla espectral (*e.g.*, Souza y Barreto, 2000; Souza *et al.*, 2003; Souza *et al.*, 2005b; Asner *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2009) y de series de tiempo (*e.g.*, Healey *et al.*, 2005; Bontemps *et al.*, 2012; Hirschmugl *et al.*, 2014; Zhu y Woodcock, 2014; DeVries *et al.*, 2015; Shimabukuro *et al.*, 2015).

Mediante estas metodologías también se han utilizado sensores remotos activos (datos SAR y LiDAR) para obtener datos en 3D, con los cuales se han detectado perturbaciones estructurales en los bosques con resultados bastante prometedores (*e.g.*, Asner *et al.*, 2010; Mitchard *et al.*, 2012; Kronseder *et al.*, 2012; Deutscher *et al.*, 2013; Jubanski *et al.*, 2013; Solberg *et al.*, 2014; Joshi *et al.*, 2015).

Estas metodologías requieren de una observación frecuente (anual, interanual, entre meses e incluso entre semanas), ya que la respuesta espectral de los bosques degradados cambia una vez se cierran los claros en el dosel por especies secundarias de baja biomasa (Herold *et al.*, 2011a).

Sin embargo, el aumento esperado en la frecuencia de observación, debido a la disponibilidad de datos libres de los satélites LANDSAT 8 OLI/TIRS y Sentinel-2, podría permitir una estimación y/o monitoreo directo, consistente y robusto de la degradación de bosques empleando datos ópticos en el futuro cercano (Miettinen *et al.*, 2014).

A través de las metodologías indirectas, las cuales tienen un enfoque dirigido hacia el análisis de la fragmentación de bosques y la infraestructura humana asociada a la extracción de productos forestales (*i.e.*, vías de acceso y centros poblados) (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Miettinen *et al.*, 2014), se han identificado exitosamente áreas de bosques degradados durante largos períodos de tiempo (*e.g.*, Asner *et al.*, 2005; Mollicone *et al.*, 2007; Potapov *et al.*, 2008; Potapov *et al.*, 2009; Pelletier *et al.*, 2013; Zhuravleva *et al.*, 2013; Greenpeace *et al.*, 2014; Margono *et al.*, 2014; Grecchi *et al.*, 2015; Haddad *et al.*, 2015; Riitters *et al.*, 2015; Shapiro *et al.*, 2016; Tyukavina *et al.*, 2016).

Estas metodologías, que incluyen el análisis de Paisajes Forestales Intactos (PFI) y de métricas de fragmentación como indicadores “proxy” para identificar “bosques potencialmente degradados” a diferentes escalas, utilizan principalmente datos obtenidos del monitoreo de la deforestación (*i.e.*, capas temáticas de bosque/no bosque y sus cambios en el tiempo) para evaluar indirectamente dónde y en qué medida ha ocurrido la degradación.

Las metodologías indirectas son útiles cuando la intensidad de la degradación no

es muy alta (perturbaciones no muy fuertes en el dosel), el área a evaluar es bastante amplia y/o las metodologías directas no pueden ser aplicadas (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Miettinen *et al.*, 2014).

A pesar de que estas metodologías carecen generalmente de una validación y presentan una menor calidad en comparación con las metodologías directas, parecen ser las opciones más accesibles, viables y costo-efectivas para obtener una aproximación sobre la degradación de bosques a gran escala (nacional e incluso mundial) en la actualidad.

En cuanto a las metodologías para el monitoreo de emisiones de carbono a partir de la quema de biomasa, que incluyen la detección de fuegos activos, el mapeo de áreas posincendio (cicatrices de fuego) y la caracterización de incendios forestales (*e.g.*, la severidad y/o energía liberada por el incendio) (Lentile *et al.*, 2006; Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b), se han combinado datos de áreas quemadas obtenidos a partir de sensores remotos con resolución temporal fina, tales como AVHRR, ATSR-2, MODIS y SPOT-VGT, con modelos biogeoquímicos o de carga de combustible para estimar emisiones (*e.g.*, Schultz *et al.*, 2008; Van der Werf *et al.*, 2010).

A pesar de que esta estrategia ha aportado información sobre los incendios relacionados con actividades de manejo de iniciativas REDD+ (GOF-C-GOLD, 2014), ha sido menos relevante para la estimación de emisiones (De Sy *et al.*, 2012) y no muy apropiada para evaluaciones de períodos históricos (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b).



©Juan Pablo Ramírez Delgado. 2015

Bosque muy húmedo premontano. Sasaima.

Para monitorear la degradación de bosques en Colombia, el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) ha propuesto definir este proceso como **“una reducción persistente de los *stocks* de carbono almacenados en bosques que pueden estar asociados con un decrecimiento sostenido y medible del dosel del bosque y/o del número de árboles por hectárea, siendo siempre el porcentaje de cobertura de bosque mayor a 30%”**.

Otra de las estrategias que se han planteado para estimar la degradación de bosques es a través de la obtención de datos de campo (atributos biofísicos en sitios específicos) para evaluar las variaciones del carbono almacenado en bosques a lo largo del tiempo (Herold *et al.*, 2011a; GOF-C-GOLD, 2014). Esta estrategia incluye metodologías basadas en inventarios forestales nacionales o subnacionales, datos de estudios de campo específicos (incluyendo entrevistas), datos de investigaciones con parcelas permanentes en bosque (frecuentemente implementados como estudios locales), datos forestales comerciales (*i.e.*, concesiones madereras y estimaciones sobre las cosechas) y datos “*proxy*” obtenidos de los mercados nacionales tales como tasas estimadas de producción de madera de los aserraderos, sus ventas y estadísticas de exportación (Nepstad *et al.*, 1999; Herold *et al.*, 2011a; Skutsch *et al.*, 2011; GOF-C-GOLD, 2014; Pearson *et al.*, 2014; Pearson *et al.*, 2017).

Utilizar estas estrategias para monitorear la degradación de bosques podría presentar limitaciones, ya que generalmente no hay disponibilidad de datos de campo que sean históricamente consistentes para evaluar la degradación que ha ocurrido en el pasado, lo cual podría ser crítico para que sean establecidas a nivel nacional, especialmente en los países en desarrollo que con frecuencia carecen de estos (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Bustamante *et al.*, 2015). Sin embargo, y dada la falta de datos históricos de biomasa para establecer puntos de referencia apropiados y la capacidad limitada para la estimación y/o monitoreo de la degradación de bosques mediante el uso de sensores remotos, se ha propuesto

estimar y/o monitorear este proceso utilizando un punto de referencia local que represente una baja o nula degradación y que tenga características biofísicas comparables (Morales-Barquero *et al.*, 2014).

Para reducir la incertidumbre de las estimaciones de degradación forestal y obtener resultados más consistentes, confiables y precisos, se ha propuesto además una combinación de estrategias que integren sensores remotos con datos de campo, lo cual podría llegar a otorgar soluciones más objetivas, prácticas y costo-efectivas para el desarrollo y mantenimiento de sistemas de Medición/Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de iniciativas REDD+, con base en las Guías de Buenas Prácticas (GPG) del Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC) (Asner *et al.*, 2010; Asner *et al.*, 2011; Herold y Skutsch, 2011; Asner *et al.*, 2012; GOF-C-GOLD, 2014).

Estimar las pérdidas en los contenidos de carbono de los bosques como consecuencia de la degradación varía de acuerdo a la estrategia utilizada. Aunque algunas estrategias podrían arrojar resultados más precisos que otros (DeFries *et al.*, 2007; Gibbs *et al.*, 2007), la opción más adecuada y confiable para evaluar la reducción de emisiones por degradación (*e.g.*, en iniciativas REDD+) es combinar sensores remotos y datos de campo (DeFries *et al.*, 2007; Eckert *et al.*, 2011; Di Vittorio *et al.*, 2014). A pesar de lo anterior, la implementación de esta combinación en el marco de un Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) es un gran desafío que incluye retos en la definición de las escalas espaciales y temporales, los parámetros biofísicos por medir y las ventanas de tiempo para integrar los datos obtenidos con fines

de calibración y/o validación (Herold *et al.*, 2011a; Herold *et al.*, 2011b; Miettinen *et al.*, 2014; Morales-Barquero *et al.*, 2014; Bustamante *et al.*, 2015).

En el contexto de las discusiones sobre REDD+ de la CMNUCC, ha habido un debate importante acerca de cómo definir y estimar la degradación de bosques (FAO, 2011; Morales-Barquero *et al.*, 2014). En torno a esta discusión, se ha sugerido que es necesario establecer umbrales y/o indicadores que permitan a los países en desarrollo clasificar sus bosques como degradados o no degradados. No obstante, la estimación de emisiones netas de GEI implica no solo la identificación de aquellas áreas que hayan sido sujetas a la degradación en un período dado, sino también la evaluación de la tasa anual de pérdida en las reservas de carbono (Morales-Barquero *et al.*, 2014).

Colombia es uno de los países en Latinoamérica que actualmente está enfocando sus esfuerzos en identificar alternativas de monitoreo de la degradación de sus bosques. Esto lo ha venido realizando a través de su SNMB, el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), el cual está en el marco del Programa Nacional de Monitoreo de Bosques y Áreas de Aptitud Forestal (PMSB) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Dicho sistema cumple con los mandatos de las decisiones de la CMNUCC en cuanto a sistemas de monitoreo de bosques (UNFCCC, 2011) y genera la información necesaria para la toma de decisiones sobre medidas y acciones en el marco de REDD+, así como lo requerido para la verificación del cumplimiento de las metas nacionales e internacionales adoptadas por el país en el sector forestal.



©Fredy Ochoa, 2014

Bosque húmedo tropical. Leticia.

El presente documento tiene como objetivo presentar los resultados de una de las metodologías que han sido priorizadas y evaluadas por el SMByC para estimar la degradación forestal de Colombia, **la cual se basa en determinar los cambios en la biomasa aérea presentes en diferentes clases de cobertura de bosque asignadas mediante un análisis de fragmentación.**

Desde el punto de vista de la CMNUCC, la degradación de bosques en el contexto de REDD+ hace referencia a una pérdida en las reservas de carbono de los bosques que continúan siendo bosques luego de una perturbación (UNFCCC, 2008). De acuerdo con lo anterior, se puede asumir que la degradación de bosques implica un impacto negativo sobre las reservas de carbono (Figura 1) y que la estimación de este impacto se debe realizar a través de variables forestales que pueden ser medibles en áreas donde la extensión, la cobertura de copa y la altura mínima permanecen por encima de unos umbrales establecidos en la definición de bosque (*i.e.*, de 0,05 a 1 hectárea de bosque, 10 a 30% de cobertura de copa y 2 a 10 m de altura mínima de los árboles) (FAO, 2002; UNFCCC, 2002; GOF-C-GOLD, 2014), la cual se debe aplicar de manera consistente en el tiempo.

Para monitorear la degradación de bosques de Colombia, el SMByC ha propuesto

definir este proceso como “una reducción persistente de los *stocks* de carbono almacenados en bosques que pueden estar asociados con un decrecimiento sostenido y medible del dosel del bosque y/o del número de árboles por hectárea, siendo siempre el porcentaje de cobertura de bosque mayor a 30%” (Galindo *et al.*, 2011a). Aunque esta definición aún se encuentra en construcción por dicho sistema, ha sido establecida inicialmente como un marco de referencia para estimar la degradación forestal de Colombia de una manera operativa. En contexto, este sistema ha adoptado la definición de bosque ante la CMNUCC como toda “tierra ocupada principalmente por árboles, que puede contener arbustos, palmas, guadas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (*in situ*) de 5 m al momento de su identificación y un área mínima de 1,0 hec-

tárea. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria” (Figura 2) (Cabrera *et al.*, 2011; Galindo *et al.*, 2014).

En el año 2011, el SMByC empezó a revisar metodologías para estimar la degradación forestal de Colombia mediante el uso de sensores remotos. Durante ese proceso, dicho sistema priorizó aquellas que podrían funcionar para los bosques del país y planteó una serie de recomendaciones para probarlas y/o evaluarlas (Galindo *et al.*, 2011a; Galindo *et al.*, 2011b). En tal sentido, el SMByC identificó la necesidad de construir un sistema en el cual se utilicen diferentes aproximaciones para la estimación de la degradación forestal de Colombia a nivel nacional y subnacional, las cuales deberían ser complementarias entre sí y adecuadas a las características de cada región del país (Galindo *et al.*, 2011b). En contexto,

el SMByC ha resaltado que la estimación de la degradación de bosques con sensores remotos es un tema que aún se encuentra bajo investigación y desarrollo, que requiere de ejercicios que evalúen las diferentes metodologías y validen los resultados con datos de campo en sitios piloto (Galindo *et al.*, 2011b).

Algunas de las metodologías indirectas que el SMByC priorizó para estimar la degradación forestal de Colombia a nivel nacional incluyeron modelos de accesibilidad, análisis de métricas de fragmentación (Ritters *et al.*, 2000) y análisis de PFI (Potapov *et al.*, 2008). Como métodos directos a nivel subnacional, priorizó realizar un análisis de series de tiempo con el índice EVI de MODIS y un análisis de mezcla espectral con imágenes LANDSAT 4-5 TM y LANDSAR 7 ETM+ (Asner *et al.*, 2009; Souza y Siqueira, 2013). Por medio de los resultados preliminares obtenidos, dicho sistema concluyó que la aplicación

de estas metodologías en Colombia contenía altos niveles de incertidumbre, considerando necesario continuar evaluando estas y otras metodologías para obtener estimaciones de la degradación forestal de Colombia de una manera consistente, robusta y costo-efectiva.

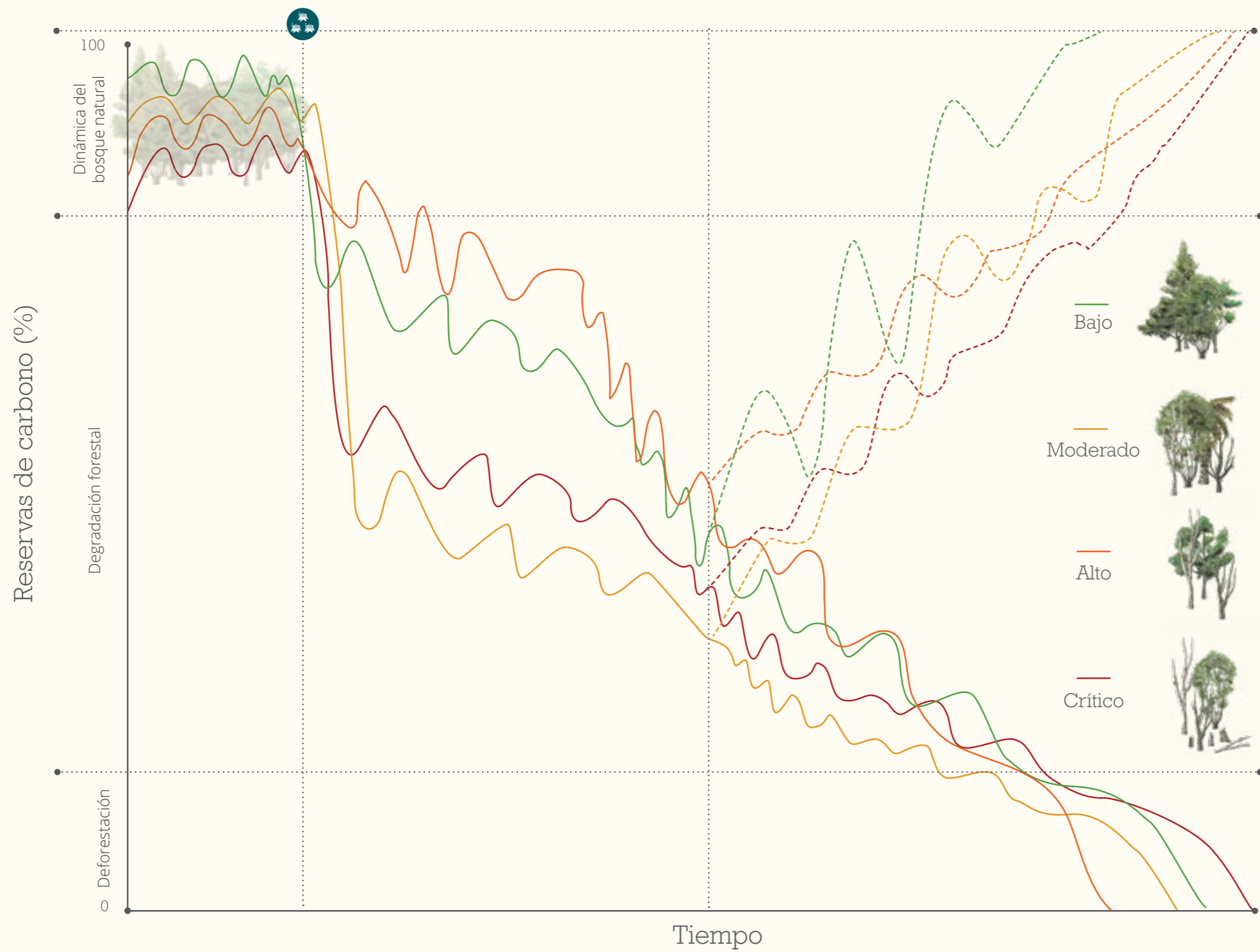
El presente documento tiene como objetivo presentar los resultados de una de las metodologías indirectas que han sido priorizadas y evaluadas por el SMByC para estimar la degradación forestal de Colombia, la cual se basa en determinar los cambios en la biomasa aérea presentes en diferentes clases de cobertura de bosque asignadas mediante un análisis de fragmentación. La fragmentación permite realizar estimaciones de la degradación de bosques, ya que no solo implica una reducción del área forestal, sino también la división del bosque remanente en parches que podrían continuar disminuyendo en tamaño con el tiempo. Esto aumenta las

áreas de borde y el aislamiento de bosque continuo, generando susceptibilidad en los bordes de los bosques a presentar mayor accesibilidad, menor biomasa, mayor mortalidad de árboles (por tala selectiva insostenible principalmente), menor biodiversidad y mayor presencia de especies invasoras e incendios forestales (Nepstad *et al.*, 1999; Sala *et al.*, 2000; Laurence, 2004; Vieira *et al.*, 2004; Cayuela *et al.*, 2009; Chaplin-Kramer *et al.*, 2015; Haddad *et al.*, 2015), todas características de un proceso de degradación forestal (Figura 3).

Esta propuesta metodológica podría ser utilizada para realizar un seguimiento de la degradación forestal de Colombia, integrar los resultados con los del monitoreo de la deforestación y establecer un plan de mejora que permita consolidar una propuesta definitiva para el monitoreo de la degradación de bosques de acuerdo a los avances y necesidades que tiene el país.

GRADOS DE DEGRADACIÓN FORESTAL

Figura 1. Representación de la dinámica natural del bosque, los grados de degradación forestal, la deforestación y la regeneración en el tiempo (adaptada de Sasaki et al. 2011).



Causas de degradación forestal

- Recolección de leña
- Pastoreo en bosque
- Tala selectiva
- Incendios forestales

UMBRALES ESTABLECIDOS EN LA DEFINICIÓN DE BOSQUE NATURAL DE COLOMBIA

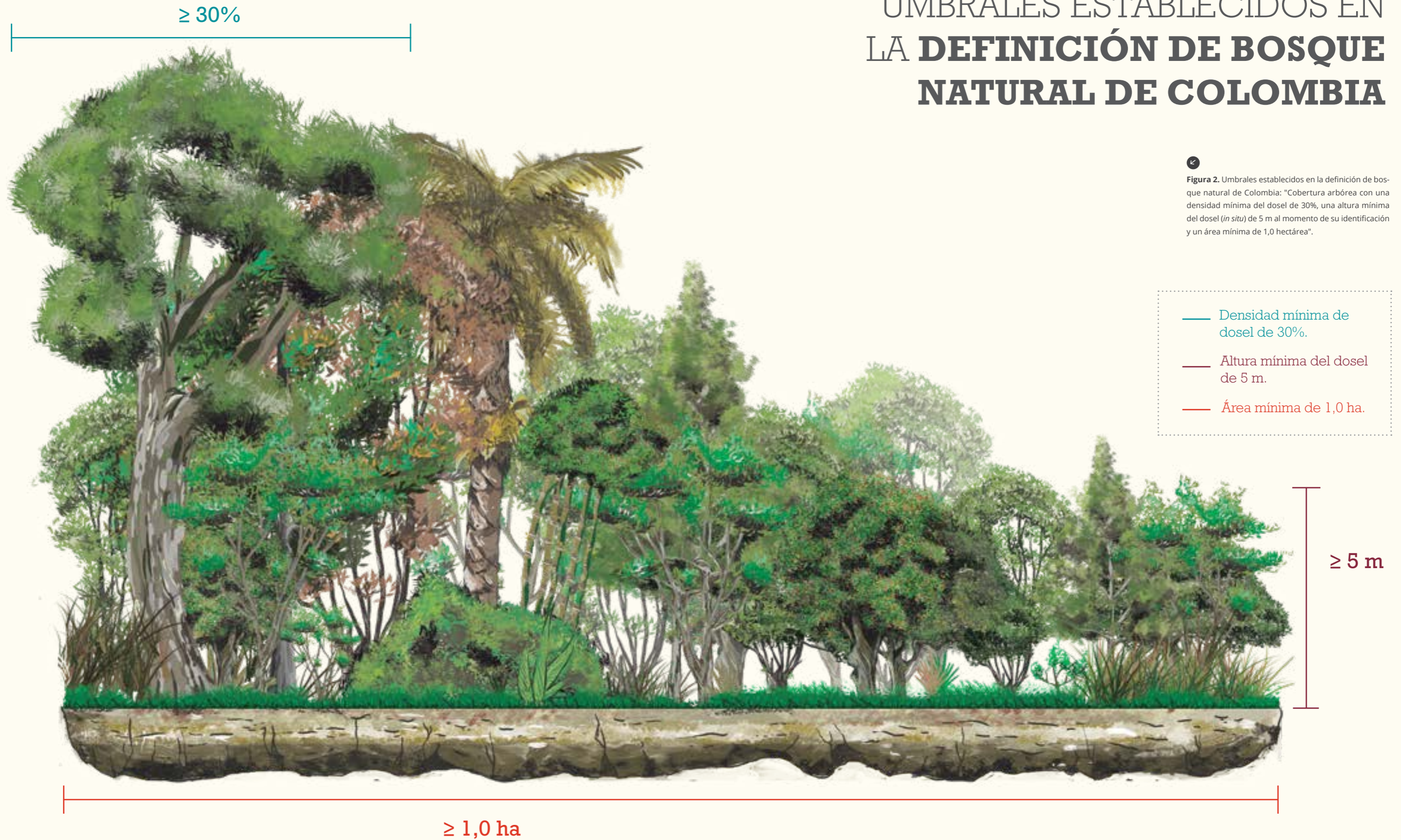


Figura 2. Umbrales establecidos en la definición de bosque natural de Colombia: "Cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (*in situ*) de 5 m al momento de su identificación y un área mínima de 1,0 hectárea".



FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE.



Figura 3
Fragmentación del bosque.

Efectos principales

- Alteración de la composición y estructura del bosque.
- Aumento del efecto de borde.
- Reducción en la conectividad del bosque.

3

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

METODOLOGÍA


 Cortesía del Servicio Geológico de
Estados Unidos. 2018

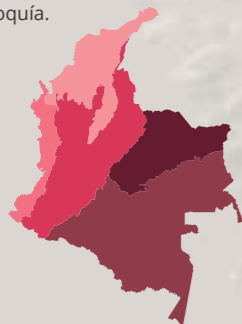
Imagen Landsat-8. 08/02/2018. Cumaribo.

3.1

ÁREA DE ESTUDIO

Colombia se encuentra localizada en la esquina noroeste de Suramérica, entre las latitudes 12° norte y 4° sur, y entre los 67° y 79° de longitud oeste, con costas sobre el mar Caribe y el océano Pacífico (Figura 4). De acuerdo con las variaciones geológicas y climáticas que se presentan en el país, se distinguen cinco grandes regiones naturales y/o biogeográficas (MADS e IDEAM, 2014):

- Amazónica.
- Andina
- Orinoquía.
- Caribe.
- Pacífico.



El país tiene una superficie total de 207.040.800 hectáreas, de las cuales 55% corresponde a su porción continental y 45% a sus dominios marítimos (DANE, 2010; Phillips *et al.*, 2016). Comparte fronteras con Panamá, Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador, y límites marítimos con Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, República Dominicana y Haití.

Los bosques del país se extienden sobre el 52,20% de su territorio continental (IDEAM, 2016a) y representan aproximadamente el 6% de las coberturas boscosas de toda Suramérica (IDEAM *et al.*, 2009). Los paisajes dominantes en el país son colinas (35%), montañas (26%), valles y llanuras (20%) (Malagón-Castro, 2003). Un 19% está representado por piedemontes, mesetas y superficies de aplanamiento (Malagón-Castro, 2003).

Las condiciones climáticas de Colombia son diversas y, en general, están determinadas por los vientos alisios, la altitud y la humedad (Phillips *et al.*, 2016). De acuer-

do con el IDEAM (2005), 91% del país presenta un clima cálido (>24 °C), 5% un clima templado (18-24 °C), y 2% un clima frío (12-18 °C). El 4% restante presenta un clima muy frío (6-12 °C), extremadamente frío (1,5-6 °C) o se encuentra bajo condiciones de glaciación (<1,5 °C).

La distribución de la precipitación del país es muy heterogénea y fluctúa gracias a la topografía accidentada y a otros meso y macrofactores (e.g., ZCIT, dipolos, ENOS, etc.) (Phillips *et al.*, 2016). No obstante, en los Andes y en la parte norte del país, el régimen de precipitación anual es bimodal, con un promedio de 2.000-6.000 mm y 500-2.000 mm respectivamente (Phillips *et al.*, 2016). Al este de los Andes, el régimen es monomodal y los rangos de precipitación anual se encuentran entre los 2.000 y los 4.500 mm. Al oeste del país no se presenta una estacionalidad marcada, ya que se encuentran ligeras diferencias en la precipitación mensual (3.000-12.000 mm) (IDEAM, 2005; Phillips *et al.*, 2016).

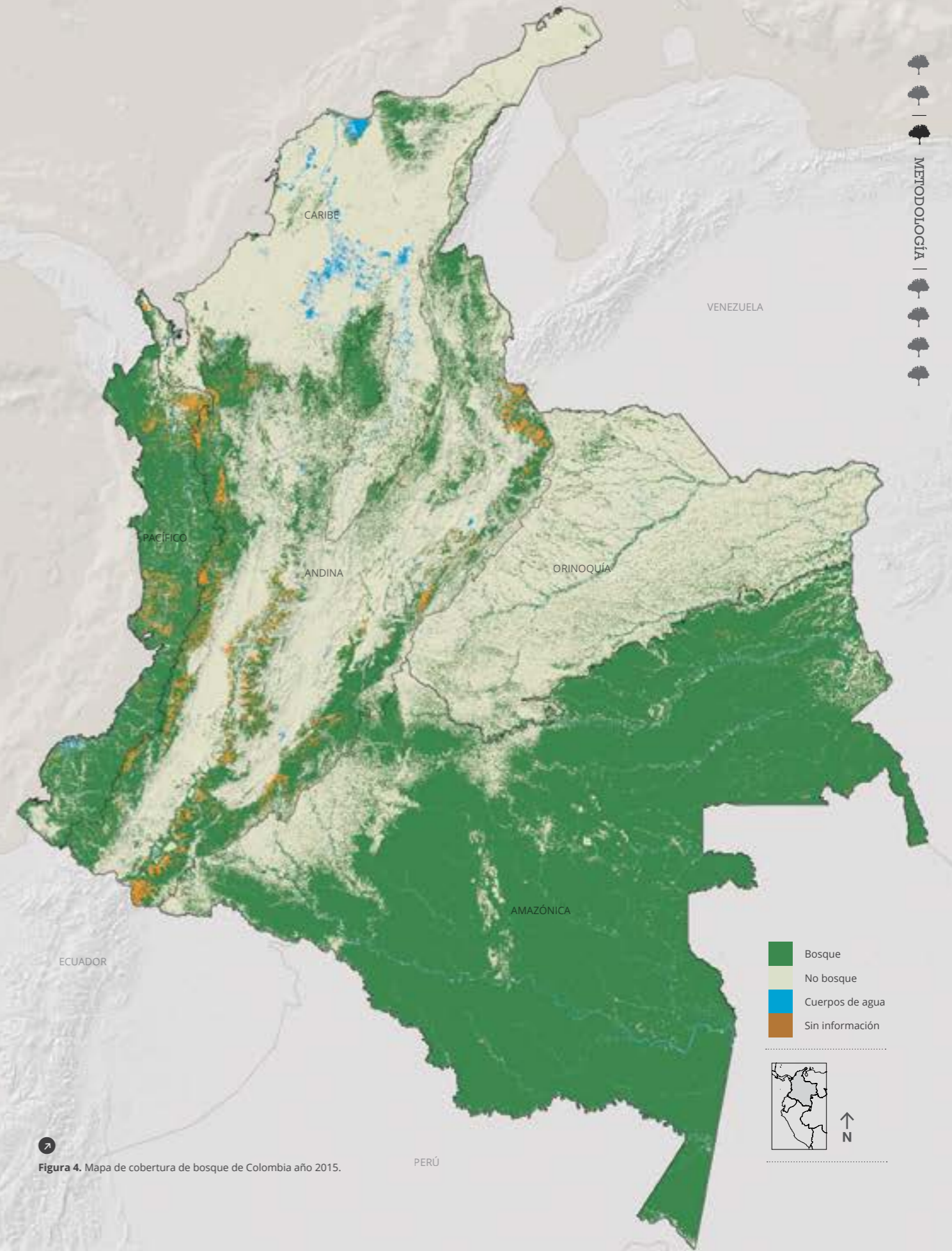


Figura 4. Mapa de cobertura de bosque de Colombia año 2015.

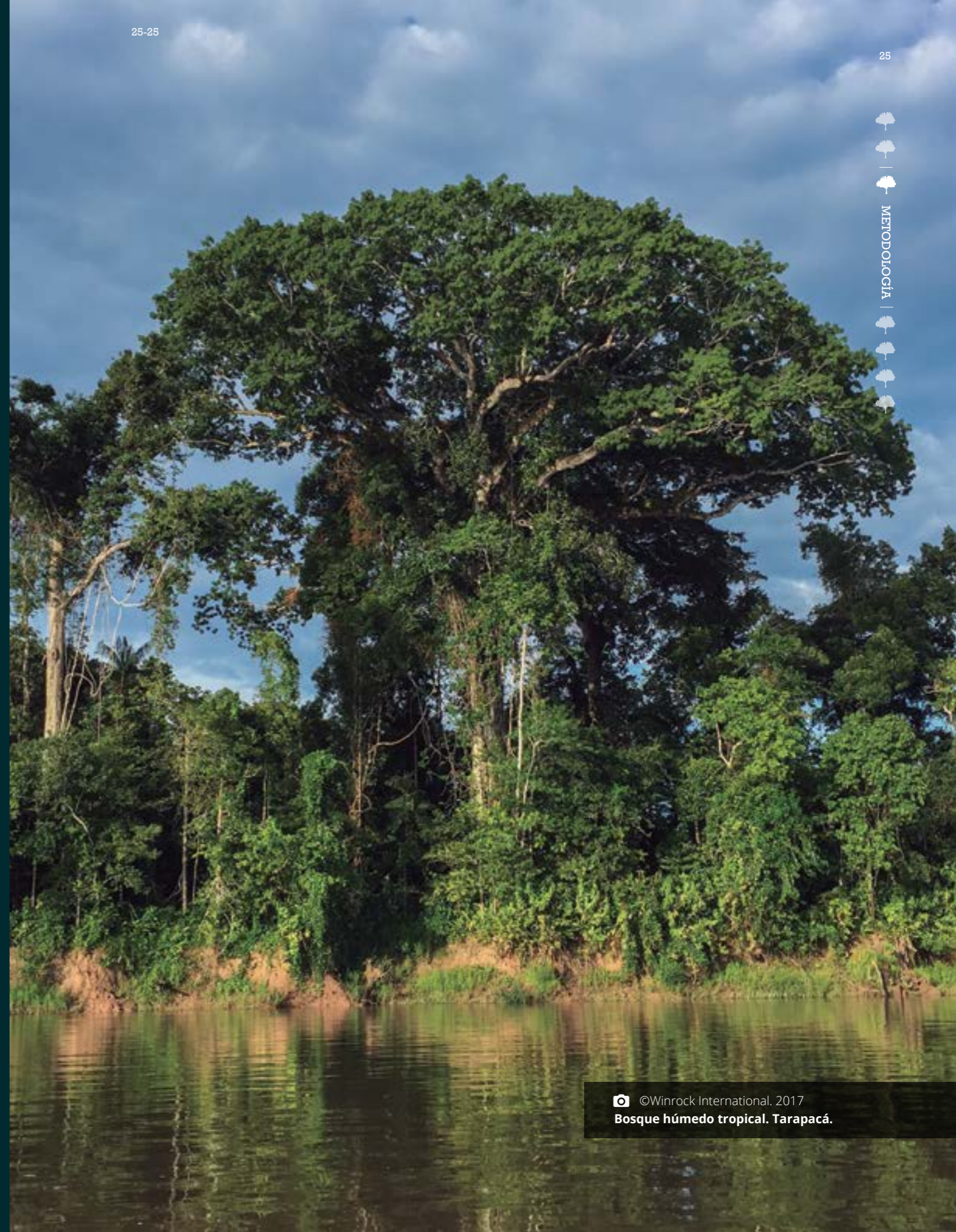
De acuerdo a la clasificación bioclimática propuesta por Holdridge y colaboradores (1971), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), el país presenta los siguientes **tipos de bosque** (Anexo 1):

La distribución de la biomasa aérea de estos bosques (Anexo 2) puede responder a variaciones climáticas a lo largo de los

gradientes altitudinales que presenta el país, lo cual limita la fotosíntesis, la transpiración, la absorción de nutrientes y la dominancia de especies de árboles en cada uno de estos tipos de bosque (Bruijnzeel y Veneklaas, 1998; Raich *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2014).

TIPOS DE BOSQUE EN COLOMBIA

- **Húmedo montano.**
- **Húmedo montano bajo.**
- **Húmedo premontano.**
- **Húmedo tropical.**
- **Muy húmedo montano.**
- **Muy húmedo montano bajo.**
- **Muy húmedo premontano.**
- **Muy húmedo tropical.**
- **Muy seco tropical.**
- **Pluvial montano.**
- **Pluvial montano bajo.**
- **Pluvial premontano.**
- **Pluvial tropical.**
- **Seco montano bajo.**
- **Seco premontano.**
- **Seco tropical.**



©Winrock International. 2017
Bosque húmedo tropical. Tarapacá.

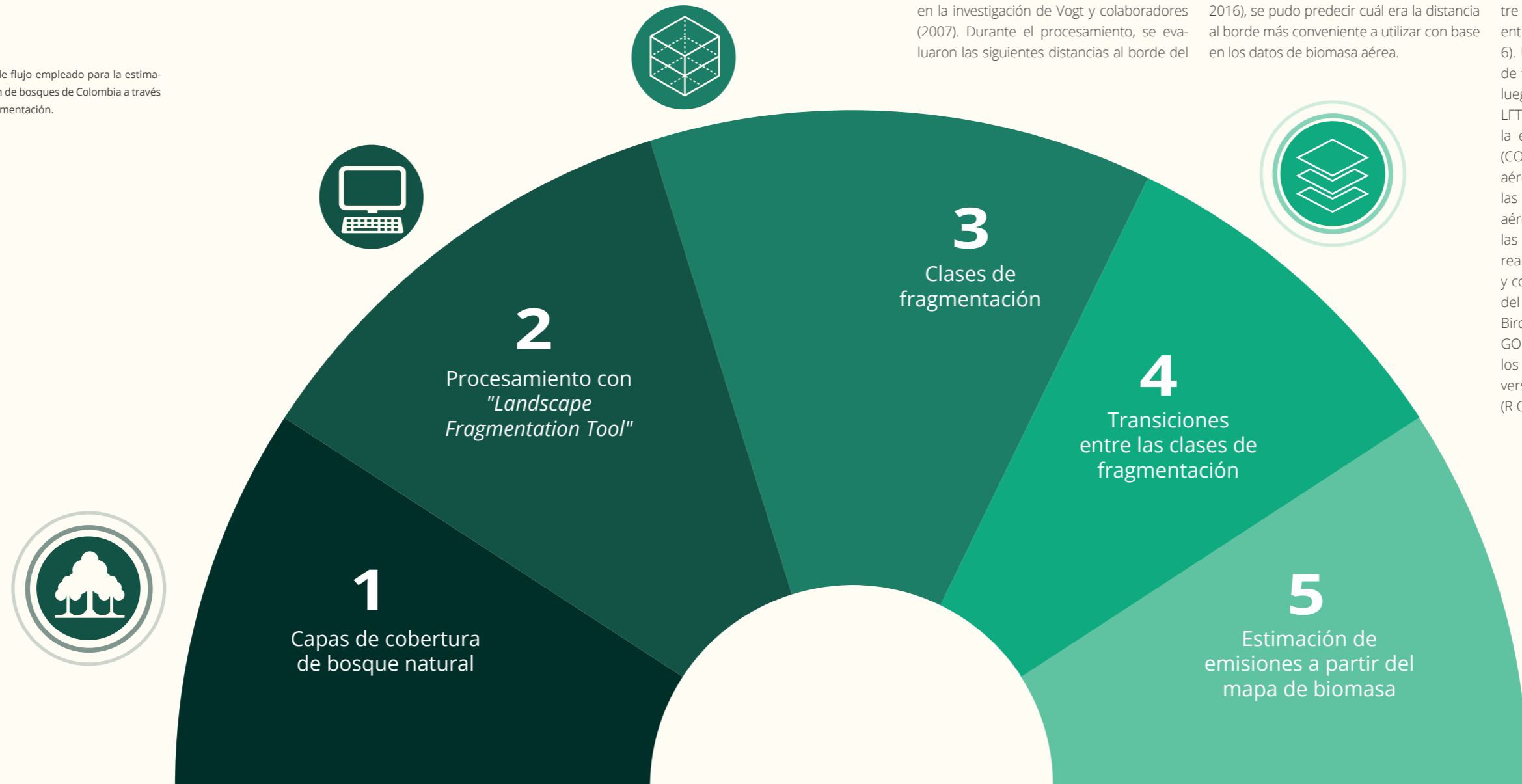
3.2 INFORMACIÓN UTILIZADA

Para estimar la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación, se utilizaron las capas de cobertura de bosque natural a nivel nacional de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015 (IDEAM, 2017),

las capas de cobertura de bosque natural de la región Amazónica de los años 2002, 2004, 2006 y 2008 (IDEAM, 2016b), y el mapa de biomasa aérea nacional del año 2007 (Galindo *et al.*, 2011c), los cuales fueron producidos por el equipo técnico

de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) del SMBYC de Colombia. Los detalles de las metodologías para cada capa mencionada se pueden encontrar en Cabrera y colaboradores (2011), Galindo y colaboradores (2011c) y Galindo y colaboradores (2014).

Figura 5. Diagrama de flujo empleado para la estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación.



3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Inicialmente se definió la distancia al borde del bosque de acuerdo al mapa de biomasa aérea. Para esto se procesó el mapa nacional de cobertura de bosque natural del año 2010 (el más cercano al año del mapa nacional de biomasa aérea) con el algoritmo "Landscape Fragmentation Tool" (LFT) de Parent y colaboradores (2007), el cual se basa en la investigación de Vogt y colaboradores (2007). Durante el procesamiento, se evaluaron las siguientes distancias al borde del

bosque con respecto al mapa de biomasa aérea: 50, 100, 120, 200, 250, 300, 350 y 400 m. A través de un diseño de muestreo aleatorio (3.430 puntos en proporción al área de bosque siguiendo las recomendaciones de Olofsson y colaboradores (2014)) y de modelos de regresión lineal con contrastes *post-hoc* de la prueba de Tukey (Pékar y Brabec, 2016), se pudo predecir cuál era la distancia al borde más conveniente a utilizar con base en los datos de biomasa aérea.

Luego de definir la distancia al borde del bosque, se procesaron las capas de cobertura de bosque natural a nivel nacional y las capas de cobertura de bosque natural de la región Amazónica con el LFT. Un esquema general de la metodología empleada se puede encontrar en la Figura 5. Para identificar las degradación de bosques entre períodos, se realizó una combinación entre las clases de fragmentación (Figura 6). Una descripción detallada de las clases de fragmentación, las cuales se obtuvieron luego de realizar el procesamiento con el LFT, se puede encontrar en la Figura 7. Para la estimación de los factores de emisión (CO₂e), se obtuvo la media de la biomasa aérea para cada clase de fragmentación y las diferencias en la media de la biomasa aérea con respecto a las transiciones entre las clases de fragmentación. Lo anterior se realizó a partir del mapa de biomasa aérea y con base en el *Tier 1* enfoque de las GPG del IPCC (IPCC, 2006; Mudiyarso *et al.*, 2008; Bird *et al.*, 2010; Bucki *et al.*, 2012; GOFCC-GOLD, 2014; Shapiro *et al.*, 2016). Todos los análisis fueron realizados en ArcMap versión 10.1 (Esri 2012) y en R versión 3.2.1 (R Core Team 2015).

TRANSICIONES ENTRE LAS CLASES DE FRAGMENTACIÓN

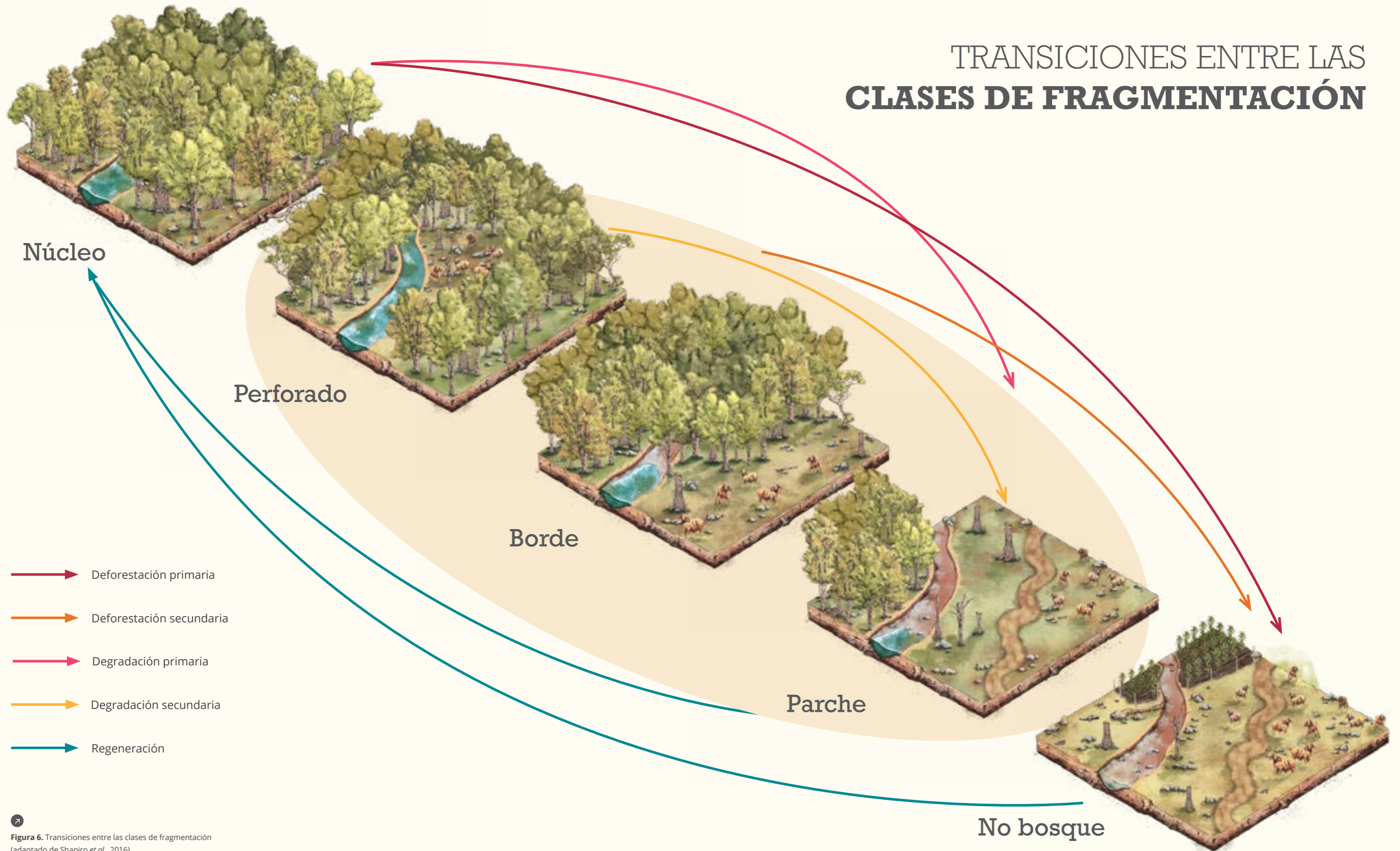


Figura 6. Transiciones entre las clases de fragmentación (adaptado de Shapiro et al., 2016).

Imagen CNES / Airbus. 22/10/2018. San Juan de Arana. Google Earth Pro. 2018.



■ No bosque

Tierra que nunca ha tenido una cobertura forestal, que es incapaz de soportar árboles, o que anteriormente era una cobertura arbórea pero cambió a una cobertura diferente. Incluye coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria. Lo anterior, de acuerdo a los umbrales establecidos en la definición de bosque (Figura 2).

■ Parche

Crítico
Fragmentos de bosque menores a 101 hectáreas.

■ Borde

Alto
Límite de los fragmentos de bosque entre 101 y 202 hectáreas, a una distancia al borde del bosque de 100 m.

■ Perforado

Moderado
Límite de las áreas de no bosque rodeadas por fragmentos de bosque entre 101 y 202 hectáreas, a una distancia al borde del bosque de 100 m.

■ Núcleo

Bajo
Fragmentos de bosque con un área mínima de 202 hectáreas.

Figura 7. Descripción y grado de degradación de las clases de fragmentación (adaptado de Shapiro et al., 2016).

4

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

RESULTADOS


 Cortesía del Servicio Geológico
de Estados Unidos, 2018

Imagen Landsat-8, 31/03/2014, Cartagena del Chairá.

4.1

DEFINICIÓN DE LA DISTANCIA AL BORDE DEL BOSQUE

Con respecto a la definición de la distancia al borde del bosque, se encontró que las ecuaciones de regresión lineal fueron significativas para todas las distancias evaluadas (Cuadro 1). Sin embargo, y debido a que el poder predictivo (valores de R-cuadrado) y el ajuste de

los modelos (valores de AIC) no variaron notablemente al aumentar la distancia al borde del bosque, se seleccionó la mínima distancia que presentó diferencias significativas en la biomasa aérea entre las clases de fragmentación (Cuadro 2).

Cuadro 1. Resultados de los análisis de regresión lineal para las distancias de 50, 100, 150, 200 m, en relación con la biomasa aérea y las clases de fragmentación. *P-value* < 0,01 representa una diferencia significativa de la biomasa aérea entre las clases de fragmentación. *N*=3.430 para cada distancia.

DISTANCIA (M)	ERROR ESTÁNDAR RESIDUAL	GRADOS DE LIBERTAD	R-CUADRADO	ESTADÍSTICO F	P-VALUE	AIC
50	54,04	3426	0,1024	130,27	0,001	37.108,89
100	51,23	3426	0,1933	273,59	<0,001	36.742,74
150	50,04	3426	0,2302	341,44	<0,001	36.582,17
200	48,99	3426	0,2622	405,76	<0,001	36.436,58



Cuadro 2. Resultados de las pruebas de comparación múltiple entre medias (contrastes de Tukey) para determinar diferencias significativas de la biomasa aérea entre clases de fragmentación a distancias de 50, 100, 150 y 200 m. $Pr(> |t|) < 0,01$ representa diferencias significativas de la biomasa aérea entre pares de clases de fragmentación. *N*=3.430 para cada distancia.

Distancia (m)	Comparaciones múltiples	Estimado	Error estándar	t-value	Pr(> t)
50	Borde - Parche	15,64	12,92	1,21	0,581
	Perforado - Parche	39,62	19,93	1,99	0,1646
	Núcleo - Parche	85,41	12,43	6,87	<0,001
	Perforado - Borde	23,98	16,02	1,50	0,3981
	Núcleo - Borde	69,77	3,78	18,48	<0,001
	Núcleo - Perforado	45,79	15,63	2,93	0,0142
100	Borde - Parche	49,61	7,23	6,86	<0,001
	Perforado - Parche	83,22	8,41	9,90	<0,001
	Núcleo - Parche	117,46	6,74	17,44	<0,001
	Perforado - Borde	33,61	5,84	5,76	<0,001
	Núcleo - Borde	67,84	2,95	22,96	<0,001
	Núcleo - Perforado	34,23	5,21	6,57	<0,001
150	Borde - Parche	46,68	5,72	8,17	<0,001
	Perforado - Parche	78,99	6,19	12,77	<0,001
	Núcleo - Parche	113,50	5,14	22,07	<0,001
	Perforado - Borde	32,31	4,46	7,25	<0,001
	Núcleo - Borde	66,82	2,83	23,57	<0,001
	Núcleo - Perforado	34,51	3,69	9,35	<0,001
200	Borde - Parche	41,22	5,01	8,23	<0,001
	Perforado - Parche	76,17	5,28	14,42	<0,001
	Núcleo - Parche	109,96	4,42	24,90	<0,001
	Perforado - Borde	34,95	3,97	8,80	<0,001
	Núcleo - Borde	68,74	2,72	25,30	<0,001
	Núcleo - Perforado	33,79	3,19	10,58	<0,001

De acuerdo a los resultados de las pruebas de comparación múltiple entre medias, las diferencias significativas de la biomasa aérea entre pares de clases de fragmentación se presentaron a partir

de los 100 m (Cuadro 2). Con el fin de esquematizar dichas diferencias, se realizó un diagrama de cajas de las estimaciones de biomasa aérea para cada clase de fragmentación (Figura 8).

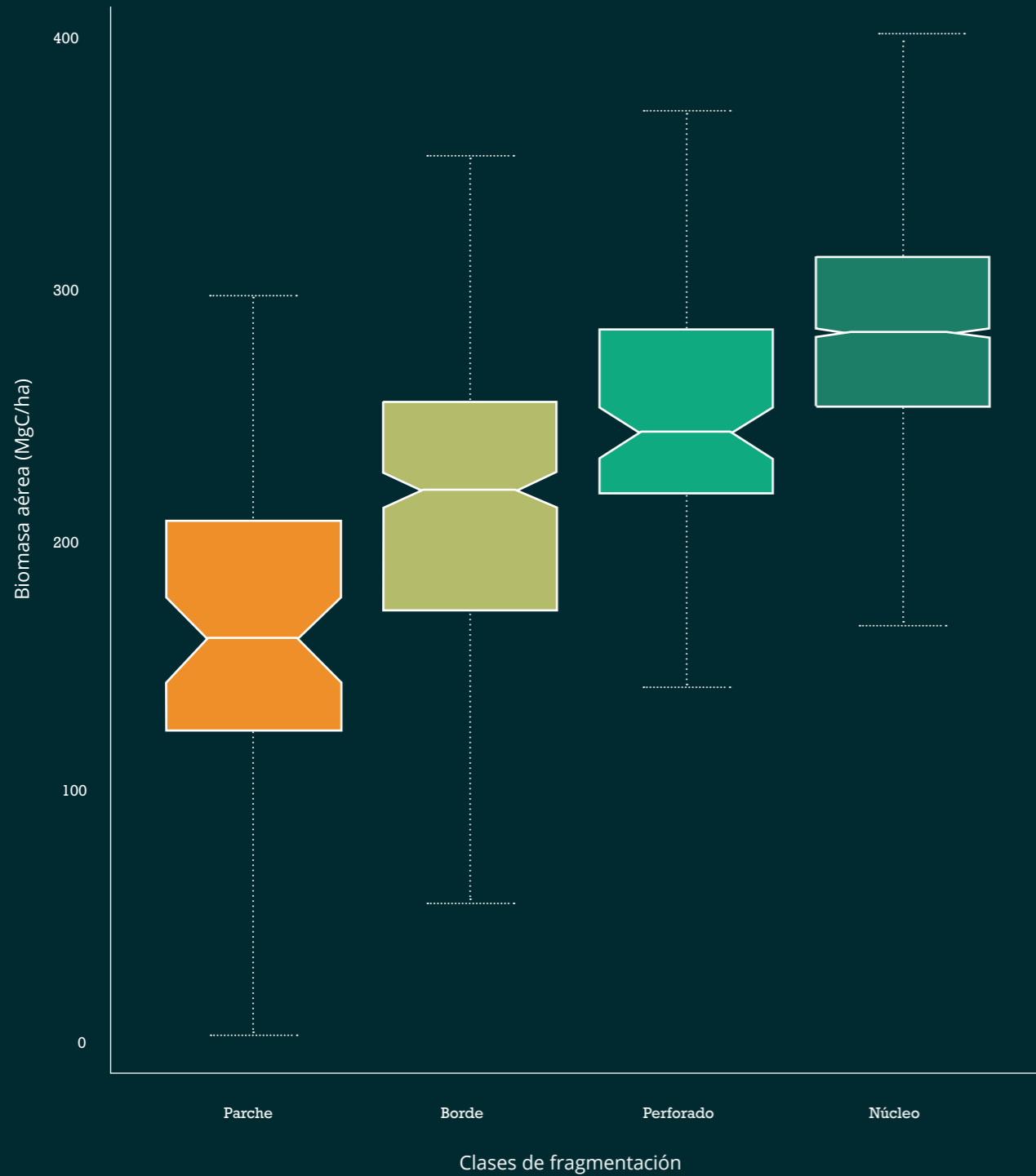
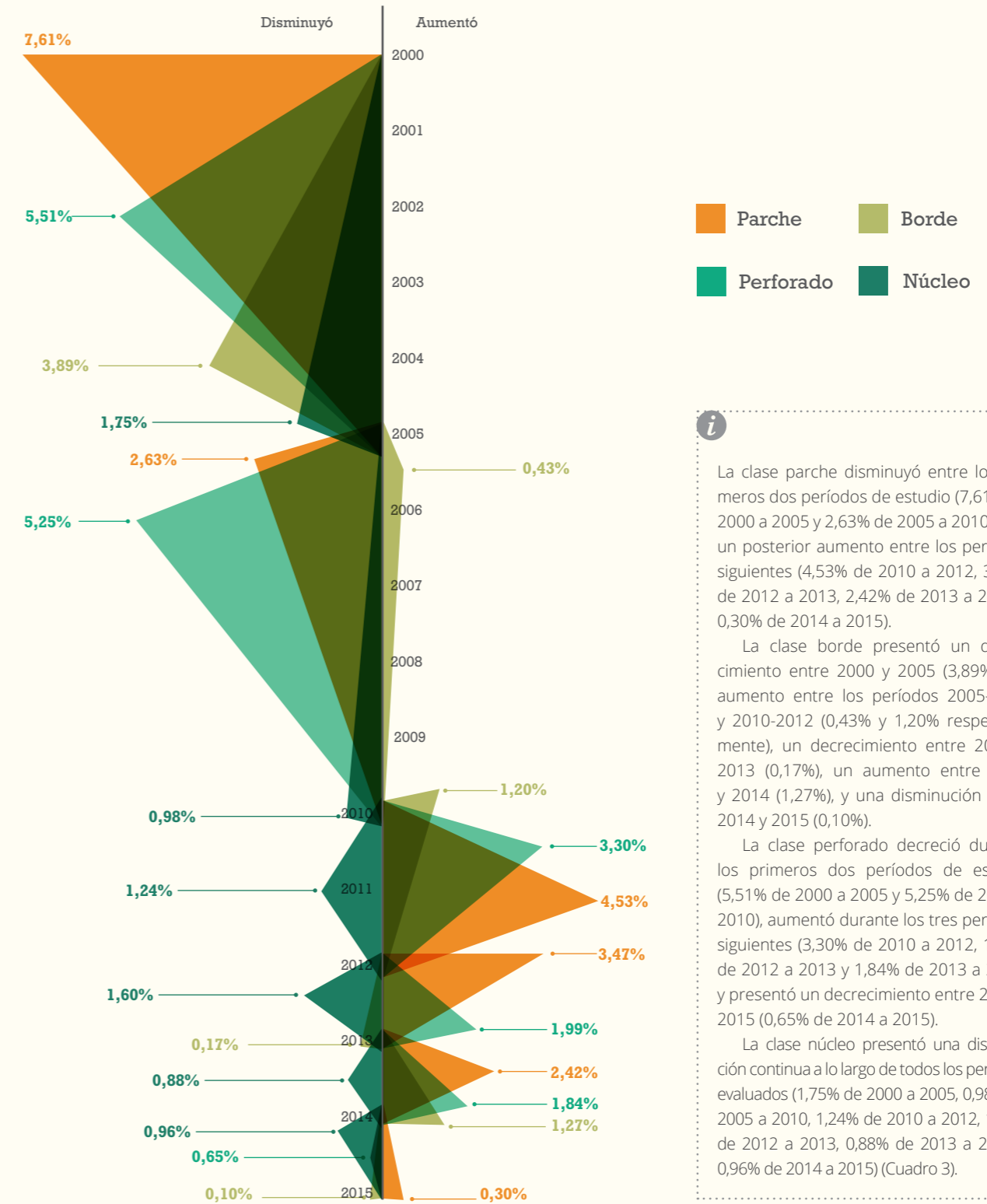


Figura 8. Diagrama de cajas de las estimaciones de biomasa aérea para cada clase de fragmentación, con una distancia al borde del bosque de 100 m. $N=59$ para parche, $N=335$ para borde, $N=100$ para perforado y $N=2.936$ para núcleo.

4.2 PATRONES DE FRAGMENTACIÓN EN COLOMBIA



i La clase parche disminuyó entre los primeros dos períodos de estudio (7,61% de 2000 a 2005 y 2,63% de 2005 a 2010), con un posterior aumento entre los períodos siguientes (4,53% de 2010 a 2012, 3,47% de 2012 a 2013, 2,42% de 2013 a 2014 y 0,30% de 2014 a 2015).

La clase borde presentó un decrecimiento entre 2000 y 2005 (3,89%), un aumento entre los períodos 2005-2010 (0,43% y 1,20% respectivamente), un decrecimiento entre 2012 y 2013 (0,17%), un aumento entre 2013 y 2014 (1,27%), y una disminución entre 2014 y 2015 (0,10%).

La clase perforado decreció durante los primeros dos períodos de estudio (5,51% de 2000 a 2005 y 5,25% de 2005 a 2010), aumentó durante los tres períodos siguientes (3,30% de 2010 a 2012, 1,99% de 2012 a 2013 y 1,84% de 2013 a 2014) y presentó un decrecimiento entre 2014 y 2015 (0,65% de 2014 a 2015).

La clase núcleo presentó una disminución continua a lo largo de todos los períodos evaluados (1,75% de 2000 a 2005, 0,98% de 2005 a 2010, 1,24% de 2010 a 2012, 1,60% de 2012 a 2013, 0,88% de 2013 a 2014 y 0,96% de 2014 a 2015) (Cuadro 3).



RESULTADOS A NIVEL NACIONAL



Cuadro 3. Área total de las clases de fragmentación de Colombia y sus regiones naturales para los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015. El área total de bosque podría variar de lo reportado oficialmente por el IDEAM, debido a los ajustes realizados para asegurar la completitud y coherencia de la serie histórica, y por la proyección utilizada para los fines de esta investigación (EPSG: 32618, WGS84 / UTM zona 18N).

Clase de fragmentación	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	1.151.456	1,84	1.063.856	1,74	1.035.876	1,71	1.082.838	1,80	1.120.427	1,89	1.147.515	1,95	1.150.959	1,94
Borde	6.265.743	10,03	6.022.270	9,85	6.048.014	9,99	6.120.762	10,19	6.110.602	10,31	6.188.377	10,49	6.182.276	10,40
Perforado	1.909.686	3,06	1.804.413	2,95	1.709.668	2,83	1.766.134	2,94	1.801.225	3,04	1.834.328	3,11	1.822.341	3,07
Núcleo	53.163.781	85,07	52.233.847	85,46	51.723.005	85,47	51.080.529	85,06	50.261.815	84,77	49.819.415	84,45	50.298.928	84,60
Total	62.490.665	100,00	61.124.386	100,00	60.516.563	100,00	60.050.263	100,00	59.294.070	100,00	58.989.635	100,00	59.454.503	100,00



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN AMAZÓNICA

Clase de fragmentación	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	119.883	0,29	117.021	0,29	110.673	0,28	110.358	0,28	127.187	0,32	129.815	0,33	132.748	0,33
Borde	1.605.751	3,92	1.671.375	4,12	1.652.241	4,11	1.659.223	4,15	1.728.256	4,33	1.729.421	4,34	1.736.728	4,37
Perforado	600.544	1,46	596.483	1,47	605.898	1,51	624.503	1,56	640.067	1,60	646.102	1,62	621.083	1,56
Núcleo	38.688.976	94,33	38.196.026	94,12	37.790.220	94,10	37.593.678	94,01	37.429.629	93,75	37.349.814	93,71	37.289.134	93,74
Total	41.015.154	100,00	40.580.904	100,00	40.159.032	100,00	39.987.762	100,00	39.925.139	100,00	39.855.152	100,00	39.779.693	100,00



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN ANDINA

	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
Clase de fragmentación	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	511.479	4,32	493.681	4,37	488.826	4,51	519.069	4,84	530.537	5,23	548.526	5,50	544.255	5,20
Borde	2.353.312	19,89	2.210.121	19,58	2.160.175	19,95	2.219.618	20,71	2.156.695	21,27	2.225.622	22,31	2.207.361	21,08
Perforado	706.807	5,97	676.820	6,00	661.954	6,11	697.912	6,51	677.668	6,68	687.963	6,90	696.386	6,65
Núcleo	8.259.453	69,81	7.905.371	70,05	7.517.813	69,42	7.279.940	67,93	6.776.552	66,82	6.512.864	65,29	7.022.154	67,07
Total	11.831.051	100,00	11.285.993	100,00	10.828.769	100,00	10.716.539	100,00	10.141.452	100,00	9.974.975	100,00	10.470.156	100,00



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN ORINOQUÍA

Clase de fragmentación	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	227.524	9,94	211.146	9,52	223.034	10,17	234.870	10,73	242.352	11,07	244.255	11,21	246.679	11,39
Borde	1.203.790	52,58	1.181.368	53,27	1.182.169	53,88	1.200.466	54,85	1.200.479	54,84	1.198.784	55,03	1.194.526	55,13
Perforado	55.689	2,43	54.798	2,47	55.566	2,53	56.444	2,58	56.521	2,58	57.391	2,63	57.302	2,64
Núcleo	802.438	35,05	770.328	34,74	733.297	33,42	696.963	31,84	689.728	31,51	678.058	31,13	668.173	30,84
Total	2.289.440	100,00	2.217.640	100,00	2.194.065	100,00	2.188.744	100,00	2.18.,080	100,00	2.178.488	100,00	2.166.680	100,00



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN CARIBE

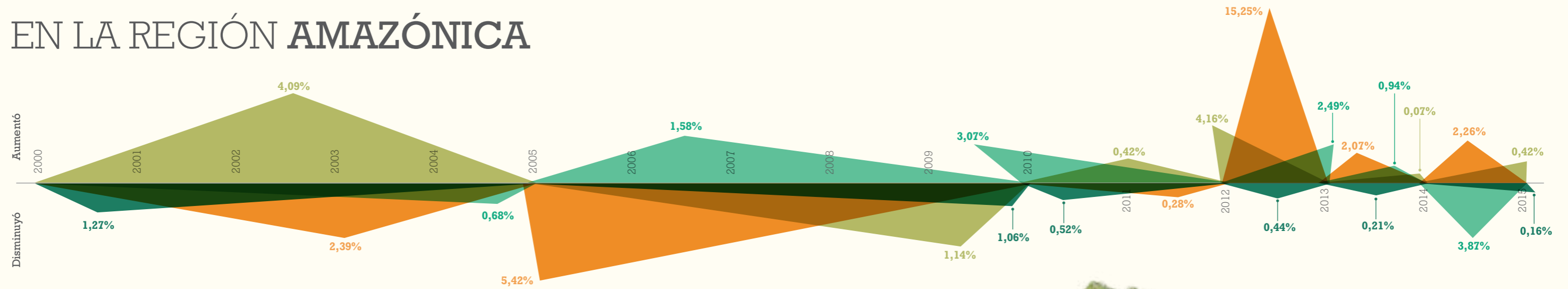
	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
Clase de fragmentación	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	262.724	12,38	221.975	11,62	182.424	10,16	187.913	10,60	185.377	10,50	188.215	10,83	190.416	10,92
Borde	736.917	34,73	634.382	33,21	592.657	33,00	591.437	33,38	593.068	33,58	591.862	34,06	595.925	34,16
Perforado	162.171	7,64	146.069	7,65	141.401	7,87	140.874	7,95	139.487	7,90	141.421	8,14	144.051	8,26
Núcleo	959.831	45,24	907.587	47,52	879.453	48,97	851.858	48,07	848.310	48,03	816.419	46,98	814.127	46,67
Total	2.121.644	100,00	1.910.013	100,00	1.795.936	100,00	1.772.081	100,00	1.766.243	100,00	1.737.917	100,00	1.744.519	100,00



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN PACÍFICO

	2000		2005		2010		2012		2013		2014		2015	
Clase de fragmentación	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	29.846	0,57	20.034	0,39	30.919	0,56	30.627	0,57	34.974	0,66	36.705	0,70	36.857	0,70
Borde	365.973	6,99	325.023	6,34	460.772	8,32	450.018	8,36	432.105	8,20	442.688	8,44	447.725	8,46
Perforado	384.475	7,35	330.244	6,44	244.848	4,42	246.400	4,58	287.482	5,45	301.451	5,75	303.513	5,73
Núcleo	4.453.083	85,09	4.454.535	86,84	4.802.222	86,70	4.658.091	86,50	4.517.596	85,69	4.462.258	85,11	4.505.237	85,11
Total	5.233.377	100,00	5.129.836	100,00	5.538.761	100,00	5.385.136	100,00	5.272.157	100,00	5.243.102	100,00	5.293.332	100,00

EN LA REGIÓN AMAZÓNICA



- Parche
- Borde
- Perforado
- Núcleo

i

La clase parche presentó una disminución continua durante los primeros tres períodos de estudio (2,39% de 2000 a 2005, 5,42% de 2005 a 2010 y 0,28% de 2010 a 2012), con un aumento durante los períodos siguientes (15,25% de 2012 a 2013, 2,07% de 2013 a 2014 y 2,26% de 2014 a 2015).

La clase borde aumentó de 2000 a 2005 (4,09%), disminuyó de 2005 a 2010 (1,14%) y aumentó durante los períodos

siguientes (0,42% de 2010 a 2012, 4,16% de 2012 a 2013, 0,07% de 2013 a 2014 y 0,42% de 2014 a 2015).

La clase perforado presentó un decrecimiento de 2000 a 2005 (0,68%), un aumento entre los siguientes cuatro períodos (1,58% de 2005 a 2010, 3,07% de 2010 a 2012, 2,49% de 2012 a 2013 y 0,94% de 2013 a 2014) y una disminución en el último período (3,87% de 2014 a 2015).

La clase núcleo presentó un decrecimiento continuo a lo largo de todos los períodos evaluados (1,27% de 2000 a 2005, 1,06% de 2005 a 2010, 0,52% de 2010 a 2012, 0,44% de 2012 a 2013, 0,21% de 2013 a 2014 y 0,16% de 2014 a 2015) (Cuadro 3).



EN CUANTO A LAS TENDENCIAS BIANUALES DE LA REGIÓN AMAZÓNICA:

La clase parche presentó una disminución entre 2000 y 2002 (5,07% de 2000 a 2002), un aumento entre los siguientes dos períodos (2,03% de 2002 a 2004 y 1,64% de 2004 a 2006) y una disminución durante los tres últimos períodos, incluyendo de 2010 a 2012 (0,84% de 2006 a 2008, 5,43% de 2008 a 2010 y 0,28 de 2010 a 2012).

La clase borde aumentó continuamente durante los primeros cuatro períodos evaluados (0,11% de 2000 a 2002,

1,67% de 2002 a 2004, 1,12% de 2004 a 2006 y 0,34% de 2006 a 2008), disminuyó durante el quinto período (0,36% de 2008 a 2010) y aumentó de 2010 a 2012 (0,42%).

La clase perforado presentó un aumento durante los primeros tres períodos de estudio (0,89% de 2000 a 2002, 0,05% de 2002 a 2004 y 1,36% de 2004 a 2006), con un decrecimiento entre 2006 y 2008 (1,81%), y un

aumento entre 2008-2010 (0,43%) y entre 2010-2012 (3,07%).

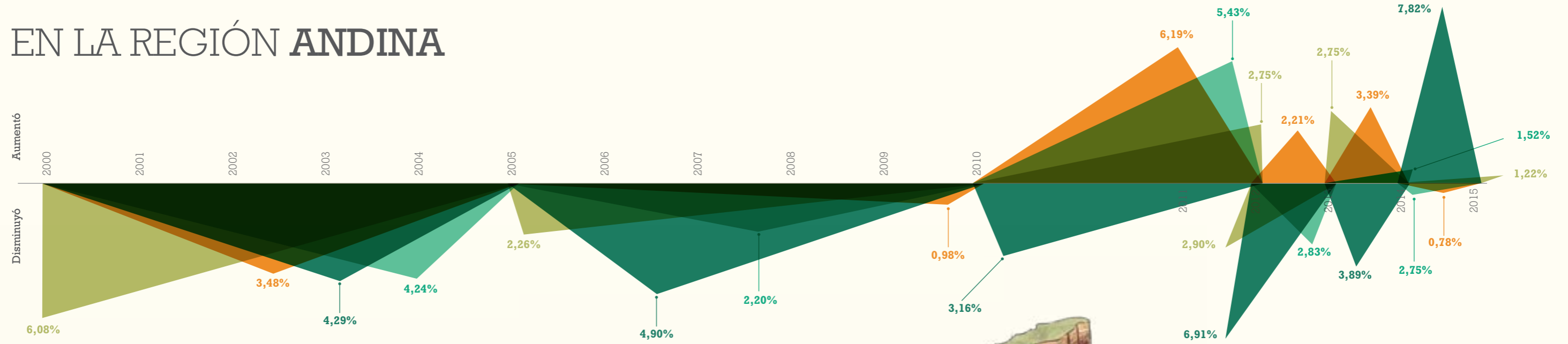
La clase núcleo disminuyó continuamente durante todos los períodos evaluados, incluyendo lo ocurrido de 2010 a 2012 (0,34% de 2000 a 2002, 0,59% de 2002 a 2004, 0,53% de 2004 a 2006, 0,44% de 2006 a 2008, 0,45% de 2008 a 2010 y 0,52% de 2010 a 2012) (Cuadro 3, Cuadro 4).



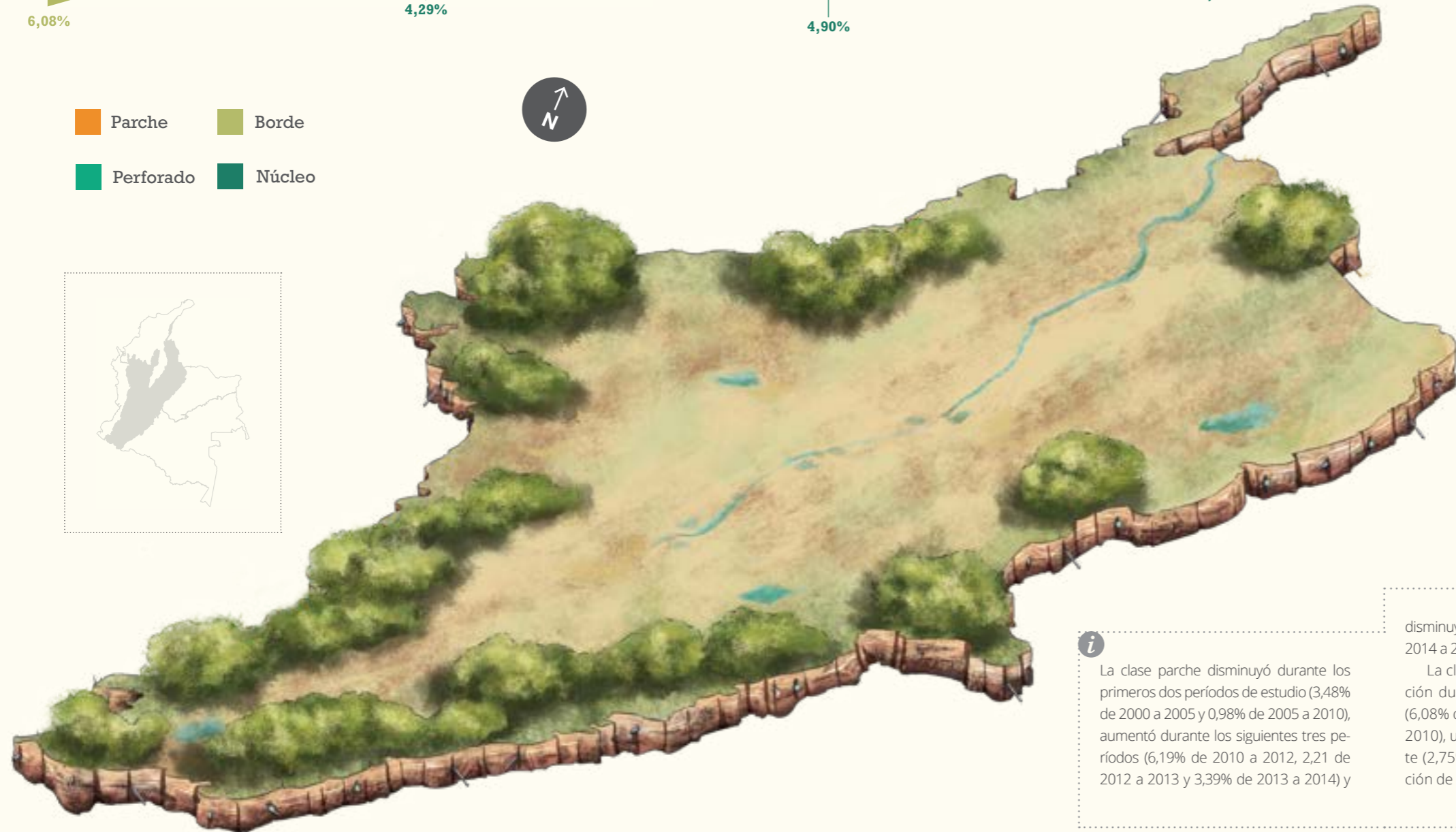
Cuadro 4. Área total de las clases de fragmentación de la región Amazónica para los años 2002, 2004, 2006 y 2008. El área total de bosque podría variar de lo reportado oficialmente por el IDEAM, debido a los ajustes realizados para asegurar la completitud y coherencia de la serie histórica, y por la proyección utilizada para los fines de esta investigación (EPSG: 32618, WGS84 / UTM zona 18N).

Clase de fragmentación	2002		2004		2006		2008	
	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque	Área (ha)	% de bosque
Parche	113.807	0,28	116.122	0,29	118.025	0,29	117.028	0,29
Borde	1.607.480	3,93	1.634.249	4,02	1.652.612	4,08	1.658.248	4,11
Perforado	605.910	1,48	606.186	1,49	614.449	1,52	603.311	1,50
Núcleo	38.556.806	94,31	38.330.517	94,21	38.129.029	94,11	37.962.521	94,10
Total	40.884.003	100,00	40.687.074	100,00	40.514.116	100,00	40.341.108	100,00

EN LA REGIÓN ANDINA



- Parche
- Borde
- Perforado
- Núcleo



i La clase parche disminuyó durante los primeros dos períodos de estudio (3,48% de 2000 a 2005 y 0,98% de 2005 a 2010), aumentó durante los siguientes tres períodos (6,19% de 2010 a 2012, 2,21 de 2012 a 2013 y 3,39% de 2013 a 2014) y

disminuyó durante el último período (0,78% 2014 a 2015).

La clase borde presentó una disminución durante los primeros dos períodos (6,08% de 2000 a 2005 y 2,26% de 2005 a 2010), un aumento en el período siguiente (2,75% de 2010 a 2012), una disminución de 2012 a 2013 (2,83%), un aumento

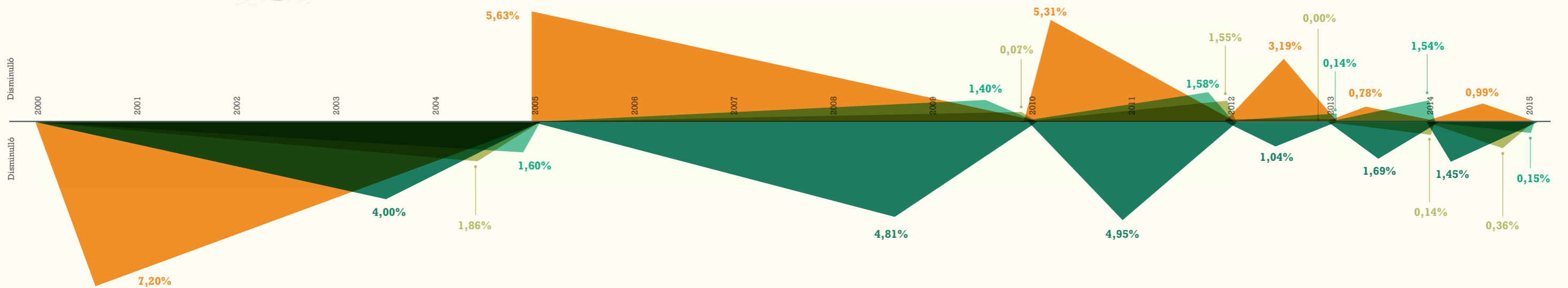
de 2013 a 2014 (3,20%) y un decrecimiento de 2014 a 2015 (0,82%).

La clase perforado decreció durante los primeros dos períodos de estudio (4,24% de 2000 a 2002 y 2,20% de 2005 a 2010), aumentó de 2010 a 2012 (5,43%), disminuyó de 2012 a 2013 (2,90%) y aumentó durante los períodos siguientes (1,52% de 2013 a 2014 y 1,22% de 2014 a 2015).

La clase núcleo presentó una disminución continua durante los primeros cinco períodos evaluados (4,29% de 2000 a 2005, 4,90% de 2005 a 2010, 3,16% de 2010 a 2012, 6,91% de 2012 a 2013 y 3,89% de 2013 a 2014), con un posterior aumento en el último período (7,82% de 2014 a 2015) (Cuadro 3). Dicho aumento se debió a las áreas de bosque/no bosque que estaban como sin información en períodos pasados.

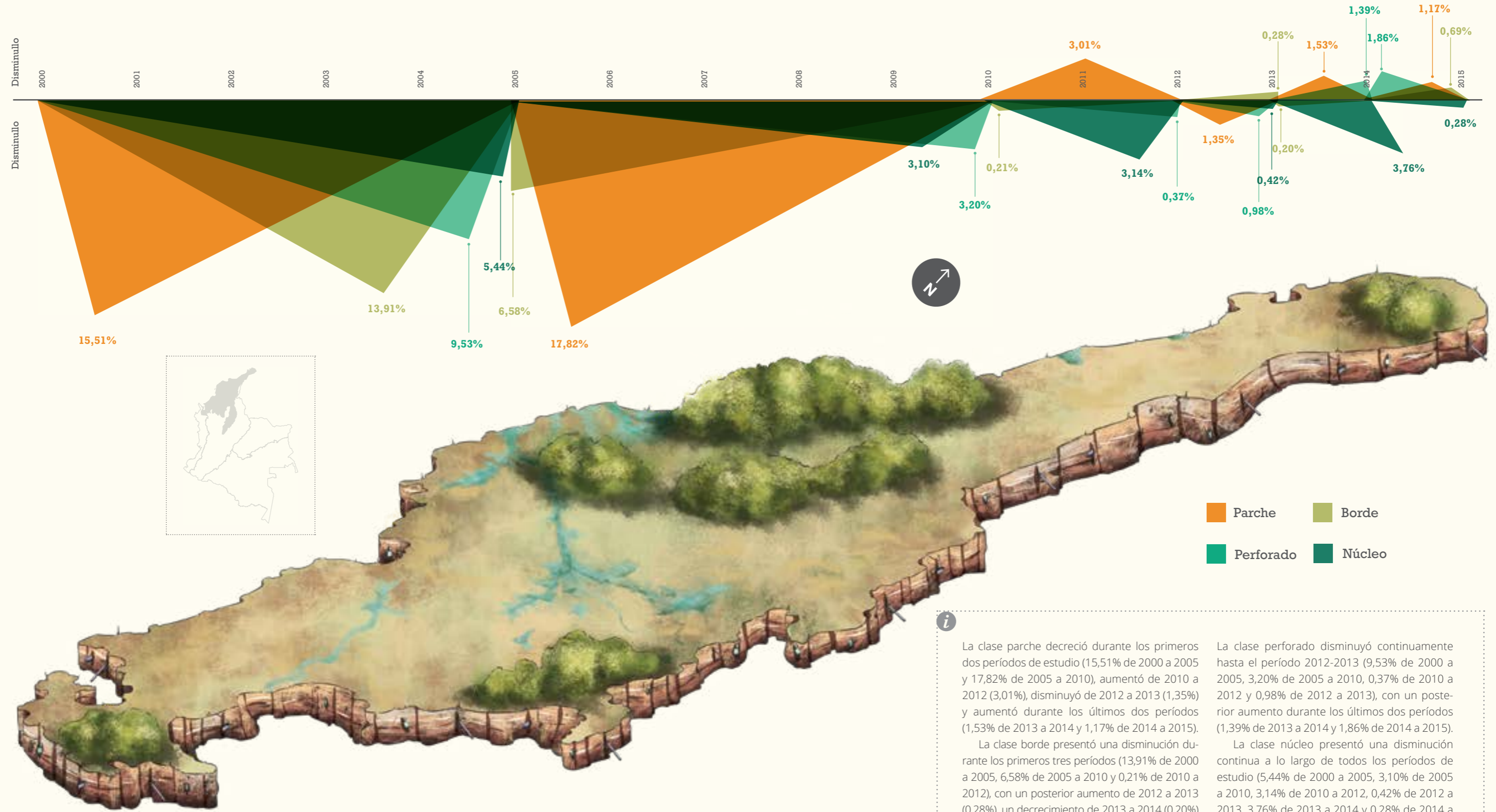
EN LA REGIÓN ORINOQUÍA

- Parche
- Borde
- Perforado
- Núcleo



i La clase parche presentó una disminución durante el primer período evaluado (7,20% de 2000 a 2005), con un posterior aumento durante los períodos siguientes (5,63% de 2005 a 2010, 5,31% de 2010 a 2012, 3,19% de 2012 a 2013, 0,78% de 2013 a 2014 y 0,99% de 2014 a 2015). La clase borde decreció de 2000 a 2005 (1,60%), aumentó durante los siguientes dos períodos (0,07% de 2005 a 2010 y 1,55% de 2010 a 2012), se mantuvo constante de 2012 a 2013 (0,00%) y disminuyó durante los últimos dos períodos (0,14% de 2013 a 2014 y 0,36% de 2014 a 2015). La clase perforado decreció de 2000 a 2005 (4,00%), presentó un aumento durante los siguientes cuatro períodos (1,40% de 2005 a 2010, 1,58% de 2010 a 2012, 1,54% de 2012 a 2013 y 1,45% de 2013 a 2014) y una posterior disminución durante el último período (0,15% de 2014 a 2015). La clase núcleo disminuyó de manera continua durante todos los períodos evaluados (4,00% de 2000 a 2005, 4,81% de 2005 a 2010, 4,95% de 2010 a 2012, 1,04% de 2012 a 2013, 1,69% de 2013 a 2014 y 1,46% de 2014 a 2015) (Cuadro 3).

EN LA REGIÓN CARIBE



■ Parche ■ Borde
■ Perforado ■ Núcleo

i La clase parche decreció durante los primeros dos períodos de estudio (15,51% de 2000 a 2005 y 17,82% de 2005 a 2010), aumentó de 2010 a 2012 (3,01%), disminuyó de 2012 a 2013 (1,35%) y aumentó durante los últimos dos períodos (1,53% de 2013 a 2014 y 1,17% de 2014 a 2015).

La clase borde presentó una disminución durante los primeros tres períodos (13,91% de 2000 a 2005, 6,58% de 2005 a 2010 y 0,21% de 2010 a 2012), con un posterior aumento de 2012 a 2013 (0,28%), un decrecimiento de 2013 a 2014 (0,20%) y un aumento de 2014 a 2015 (0,69%).

La clase perforado disminuyó continuamente hasta el período 2012-2013 (9,53% de 2000 a 2005, 3,20% de 2005 a 2010, 0,37% de 2010 a 2012 y 0,98% de 2012 a 2013), con un posterior aumento durante los últimos dos períodos (1,39% de 2013 a 2014 y 1,86% de 2014 a 2015).

La clase núcleo presentó una disminución continua a lo largo de todos los períodos de estudio (5,44% de 2000 a 2005, 3,10% de 2005 a 2010, 3,14% de 2010 a 2012, 0,42% de 2012 a 2013, 3,76% de 2013 a 2014 y 0,28% de 2014 a 2015) (Cuadro 3).

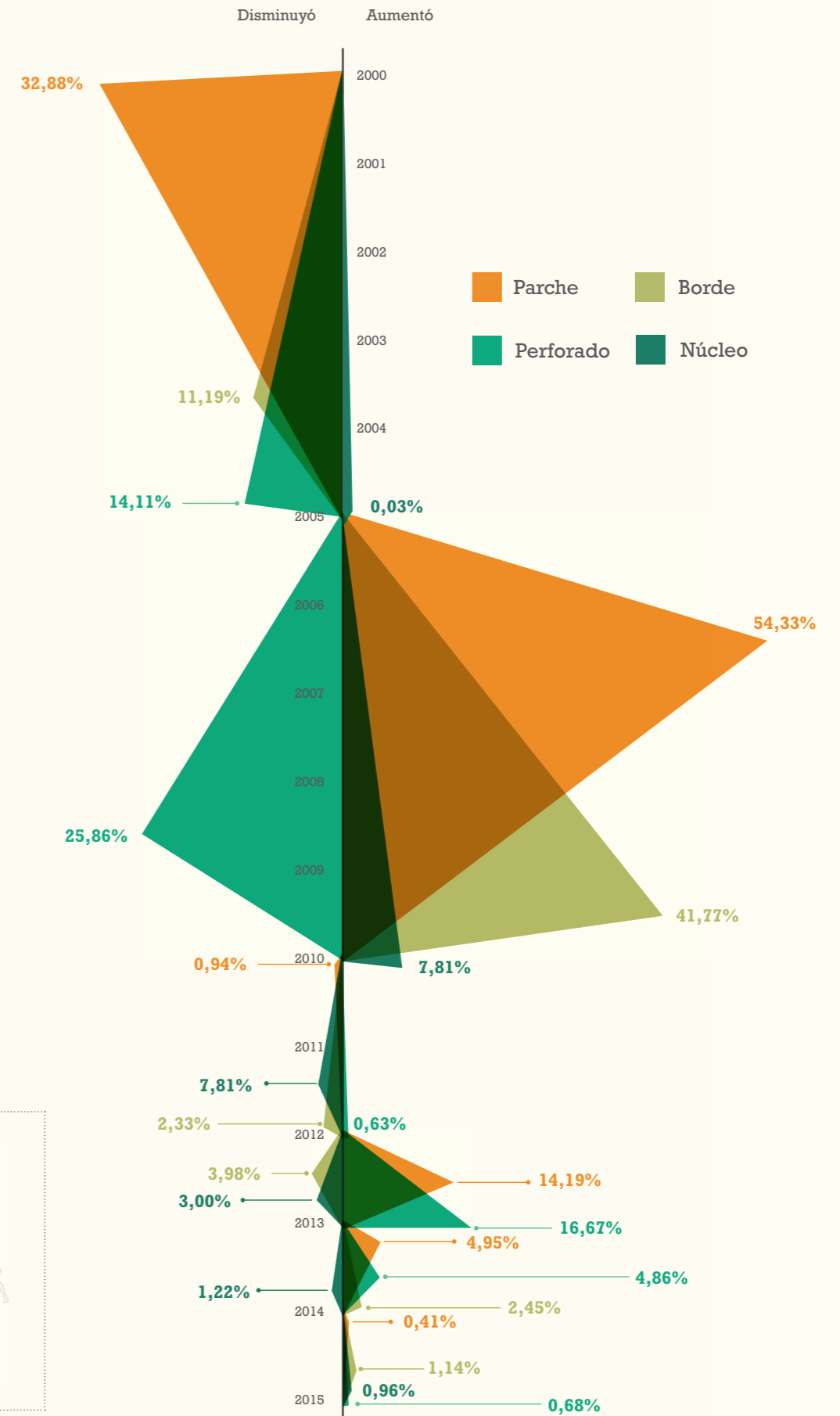
EN LA REGIÓN PACÍFICO

i La clase parche disminuyó de 2000 a 2005 (32,88%), aumentó de 2005 a 2010 (54,33%), disminuyó de 2010 a 2012 (0,94%) y aumentó durante los periodos siguientes (14,19% de 2012 a 2013, 4,95% de 2013 a 2014 y 0,41% de 2014 a 2015).

La clase borde presentó un decrecimiento entre 2000 y 2005 (11,19%), un aumento de 2005 a 2010 (41,77%), una disminución entre los siguientes dos periodos (2,33 de 2010 a 2012 y 3,98% de 2012 a 2013) y un aumento durante los últimos dos periodos (1,14% de 2013 a 2014 y 0,96% de 2014 a 2015).

La clase perforado disminuyó durante los primeros dos periodos de estudio (14,11% de 2000 a 2005 y 25,86 de 2005 a 2010), con un aumento continuo durante los periodos siguientes (0,63% de 2010 a 2012, 16,67% de 2012 a 2013, 4,86% de 2013 a 2014 y 0,68% de 2014 a 2015).

La clase núcleo presentó un aumento de 2000 a 2005 (0,03%) y de 2005 a 2010 (7,81%), un decrecimiento hasta el periodo 2013-2014 (3,00% de 2010 a 2012, 3,02% de 2012 a 2013 y 1,22% de 2013 a 2014) y un posterior aumento entre 2014 y 2015 (0,96%) (Cuadro 3).



Tomando en consideración los resultados presentados, se pueden identificar las siguientes tendencias por períodos:

1. 2000-2005: Las clases parche y perforado disminuyeron principalmente en la región Pacífico (32,88% y 14,11% respectivamente), y las clases borde y núcleo en la región Caribe (13,91% y 5,44% respectivamente).

2. 2005-2010: La clase parche disminuyó principalmente en la región Caribe (17,82%) y aumentó sobre todo en la región Pacífico (54,33%). Las clases borde y núcleo presentaron un aumento principalmente en la región Pacífico (41,77% y 7,81% respectivamente), la clase perforado una disminución especialmente en la región Pacífico (25,86%), y la clase núcleo un decrecimiento principalmente en la región Caribe (4,81%).

3. 2010-2012: Las clases parche, borde y perforado aumentaron principalmente en la región Andina (6,19%, 2,75% y 5,43% respectivamente), y la clase núcleo decreció especialmente en la región Orinoquía (4,95%).

4. 2012-2013: La clase parche aumentó principalmente en la región Amazónica (15,25%) y en la región Pacífico (14,19%), la clase borde disminuyó especialmente en la región Pacífico (3,98%) y aumentó particularmente en la región Amazónica (4,16%), la clase perforado aumentó principalmente en la región Pacífico (16,67%), y la clase núcleo decreció particularmente en la región Andina (6,61%).

5. 2013-2014: Las clases parche y perforado aumentaron principalmente en la región Pacífico (4,95% y 4,86% respectivamente), y la clase borde en la región Andina (3,20%). La clase núcleo decreció especialmente en la región Andina y en la región Caribe (3,89% y 3,76% respectivamente).

6. 2014-2015: La clase parche aumentó principalmente en la región Amazónica (2,26%) y disminuyó particularmente en la región Andina (0,78%). La clase borde aumentó especialmente en la región Pacífico (1,14%) y decreció principalmente en la región Andina (0,82%). La clase perforado aumentó particularmente en la región Caribe (1,86%) y disminuyó principalmente en la región Amazónica (3,87%). La clase núcleo aumentó especialmente en la región Andina (7,82%) y en la región Pacífico (0,96%), y disminuyó principalmente en la región Orinoquía (1,46%) (Cuadro 3).

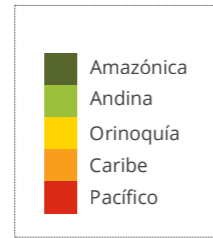
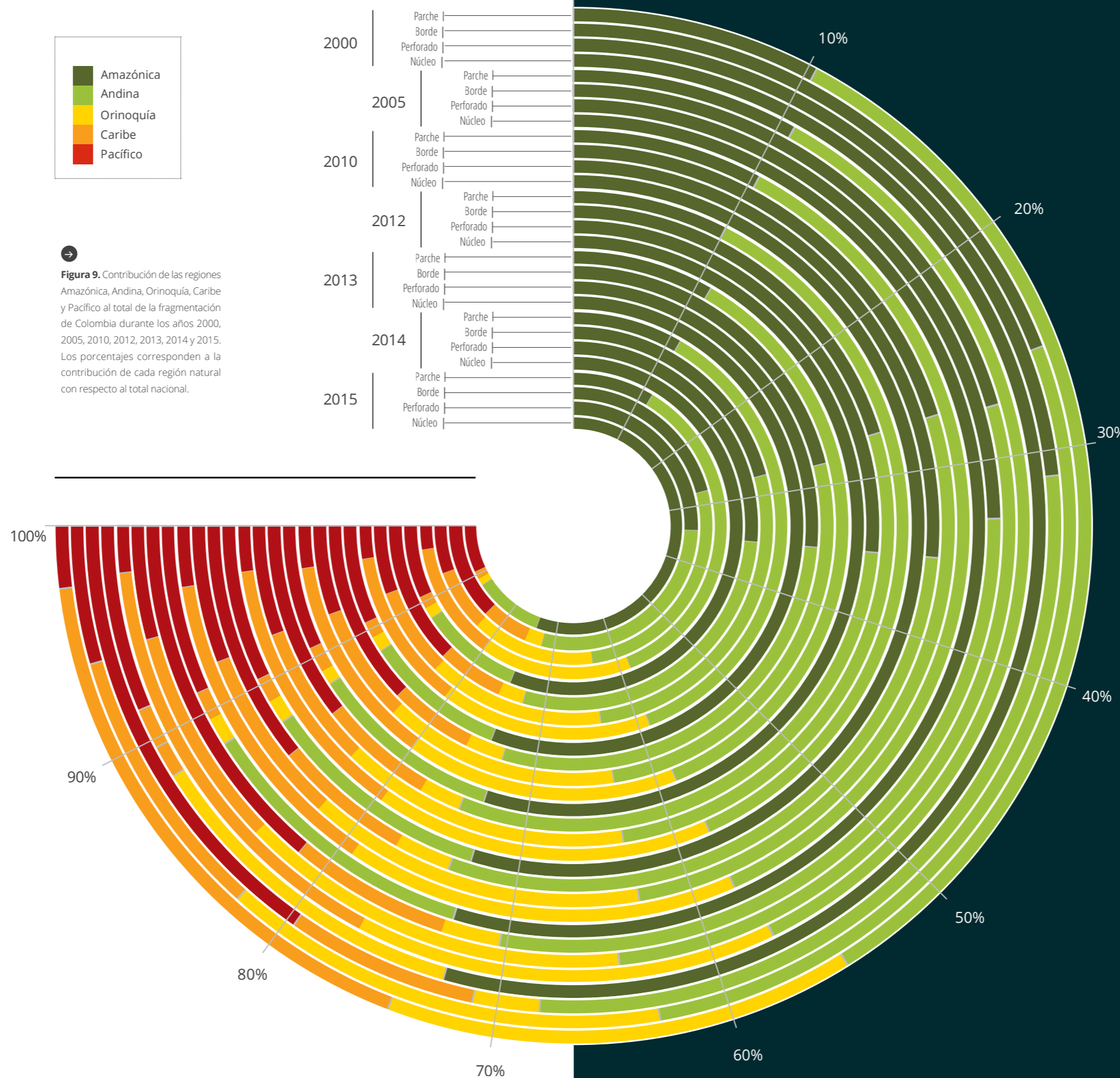


Figura 9. Contribución de las regiones Amazónica, Andina, Orinoquía, Caribe y Pacífico al total de la fragmentación de Colombia durante los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015. Los porcentajes corresponden a la contribución de cada región natural con respecto al total nacional.



Año	Clase	Amazónica	Andina	Orinoquía	Caribe	Pacífico
2000	Parche	10,41%	44,42%	22,82%	19,76%	2,59%
	Borde	25,63%	37,56%	11,76%	19,21%	5,84%
	Perforado	31,45%	37,01%	8,49%	2,92%	20,13%
	Núcleo	72,77%	15,54%	1,81%	1,51%	8,38%
2005	Parche	11,00%	46,40%	20,87%	19,85%	1,88%
	Borde	27,75%	36,70%	10,53%	19,62%	5,40%
	Perforado	33,06%	37,51%	8,10%	3,04%	18,30%
	Núcleo	73,13%	15,13%	1,74%	1,47%	8,53%
2010	Parche	10,68%	47,19%	17,61%	21,53%	2,98%
	Borde	27,32%	35,72%	9,80%	19,55%	7,62%
	Perforado	35,44%	38,72%	8,27%	3,25%	14,32%
	Núcleo	73,06%	14,53%	1,70%	1,42%	9,28%
2012	Parche	10,19%	47,94%	17,35%	21,69%	2,83%
	Borde	27,11%	36,26%	9,66%	19,61%	7,35%
	Perforado	35,36%	39,52%	7,98%	3,20%	13,95%
	Núcleo	73,60%	14,25%	1,67%	1,36%	9,12%
2013	Parche	11,35%	47,35%	16,55%	21,63%	3,12%
	Borde	28,28%	35,29%	9,71%	19,65%	7,07%
	Perforado	35,54%	37,62%	7,74%	3,14%	15,96%
	Núcleo	74,47%	13,48%	1,69%	1,37%	8,99%
2014	Parche	11,31%	47,80%	16,40%	21,29%	3,20%
	Borde	27,95%	35,96%	9,56%	19,37%	7,15%
	Perforado	35,22%	37,50%	7,71%	3,13%	16,43%
	Núcleo	74,97%	13,07%	1,64%	1,36%	8,96%
2015	Parche	11,53%	47,29%	16,54%	21,43%	3,20%
	Borde	28,09%	35,70%	9,64%	19,32%	7,24%
	Perforado	34,08%	38,21%	7,90%	3,14%	16,66%
	Núcleo	74,14%	13,96%	1,62%	1,33%	8,96%

El porcentaje de contribución de las regiones naturales de Colombia con respecto al total de la fragmentación nacional para cada año se puede encontrar en la Figura 9. La región natural que más contribuyó en las clases parche, borde y perforado fue la región Andina. La región Amazónica, por su parte, fue la que presentó mayores contribuciones en la clase núcleo. La región Orinoquía contribuyó principalmente en las clases parche y borde, después de la región Amazónica y la región Andina, especialmente durante los años 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015. La región Pacífico contribuyó especialmente en las clases perforado y núcleo, después de la región Andina y la región Amazónica. En cuanto a la región Caribe, sus mayores contribuciones fueron en la clase parche para los años 2000 y 2005, después de la región Amazónica y la región Andina (Figura 9).

4.3

PATRONES DE DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN DE BOSQUES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, la deforestación y la degradación de bosques en Colombia presentaron notables variaciones subnacionales (Figura 10, Cuadro 5). A nivel nacional, el período 2000-2005 mostró que la superficie de deforestación fue mayor a la de degradación (0,98% más en deforestación que en degradación). Caso contrario ocurrió durante los períodos 2005-2010, 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, cuando la superficie de degradación superó a la de deforestación (en promedio, 25,85% más en degradación que en deforestación). Sin embargo, en la mayoría de los períodos evaluados, la pérdida de biomasa media y de CO₂e siempre fue mayor en deforestación que en degradación (en promedio, 22,94% más en deforestación que en degradación), con excepción a lo ocurrido en los períodos 2012-2013 y 2014-2015, cuando la degradación superó a la deforestación con una diferencia de 13,02% y 11,52% respectivamente (Cuadro 5).

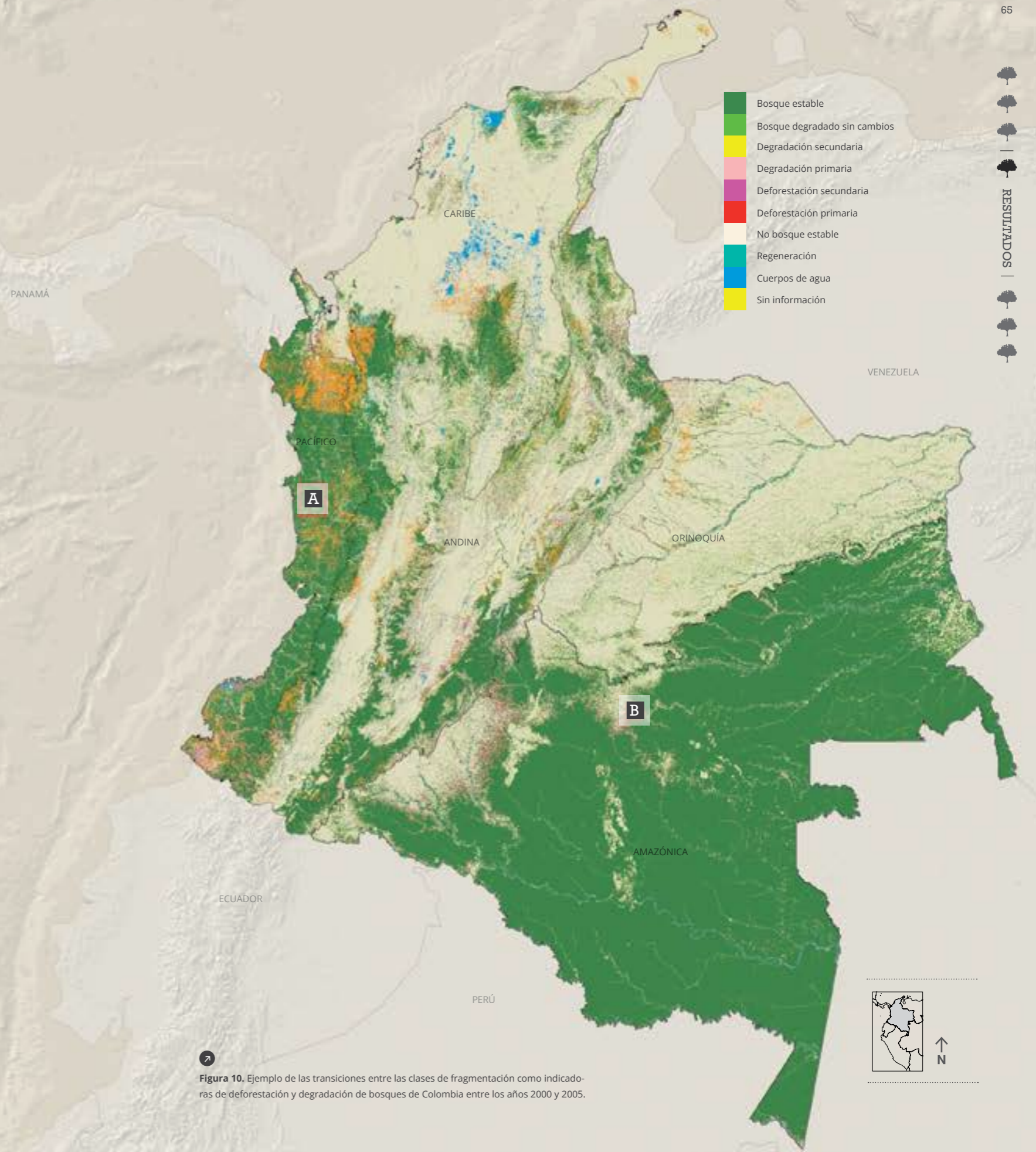
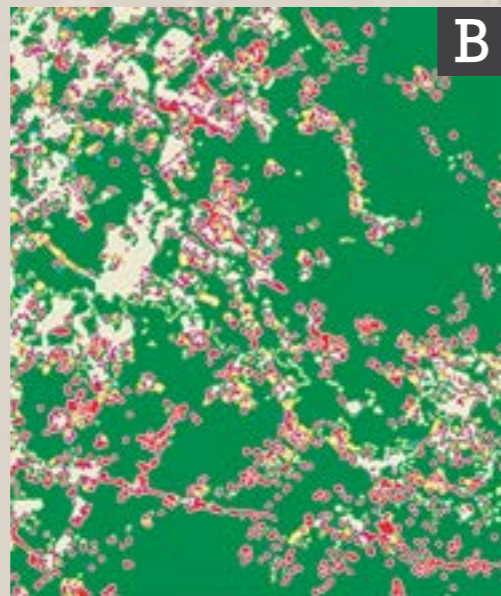
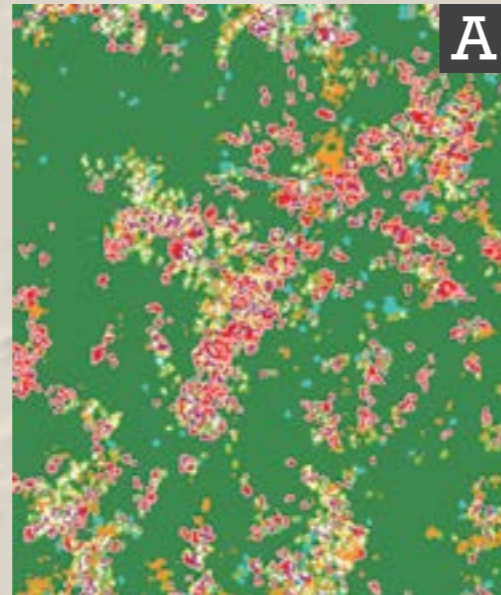


Figura 10. Ejemplo de las transiciones entre las clases de fragmentación como indicadores de deforestación y degradación de bosques de Colombia entre los años 2000 y 2005.



RESULTADOS A NIVEL NACIONAL



Cuadro 5. Contribución de la deforestación (Def.) y la degradación de bosques (Deg.) al total de las emisiones de Colombia y sus regiones naturales durante los periodos 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015. El área total de deforestación podría variar de lo reportado oficialmente por el IDEAM, debido a los ajustes realizados para asegurar la completitud y coherencia de la serie histórica, y por la proyección utilizada para los fines de esta investigación (EPSG: 32618, WGS84 / UTM zona 18N). Los factores de emisión utilizados para la estimación de la pérdida de biomasa media anual por deforestación y degradación se pueden encontrar en el Anexo 3.

	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
Clase de fragmentación	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	315.350	309.218	281.778	325.610	164.638	250.019	119.418	334.943	140.887	180.731	123.696	300.081
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	27.989.084	15.369.163	24.509.549	15.927.661	15.666.387	11.719.320	11.938.170	15.512.318	14.502.534	8.333.133	12.740.500	16.059.034
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	102.626.642	56.353.598	89.868.347	58.401.424	57.443.420	42.970.838	43.773.291	56.878.498	53.175.959	30.554.821	46.715.165	58.883.125
% de las emisiones totales de CO ₂	64,55	35,45	60,61	39,39	57,21	42,79	43,49	56,51	63,51	36,49	44,24	55,76



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN AMAZÓNICA

Clase de fragmentación	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	96.529	110.226	78.846	89.447	93.563	119.906	67,260	195,588	63,857	62,550	56,838	156,467
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	9.645.782	5.532.201	7.765.961	4.378.047	9.646.729	5.726.926	7,086,875	9,656,818	6,822,596	3,136,193	5,972,337	9,443,193
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	35.367.868	20.284.737	28.475.191	16.052.841	35.371.341	20.998.729	25,985,207	35,408,334	25,016,184	11,499,373	21,898,570	34,625,042
% de las emisiones totales de CO ₂	63,55	36,45	63,95	36,05	62,75	37,25	42,33	57,67	68,51	31,49	38,74	61,26



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN ANDINA

Clase de fragmentación	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	111.003	113.167	104.853	129.790	36.356	91.968	25.997	79.879	33.659	56.090	29.174	67.793
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	9.213.988	5.543.698	8.486.538	6.169.940	3.087.210	4.153.976	2.438.645	3.287.370	3.347.193	2.437.773	2.931.796	3.115.922
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	33.784.622	20.326.891	31.117.305	22.623.115	11.319.768	15.231.246	8.941.699	12.053.692	12.273.041	8.938.501	10.749.918	11.425.047
% de las emisiones totales de CO ₂	62,44	37,56	57,90	42,10	42,63	57,37	42,59	57,41	57,86	42,14	48,48	51,52



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN ORINOQUÍA

Clase de fragmentación	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	27.381	20.557	22.817	20.064	12.684	11.087	8.769	7.945	10.669	10.449	9.104	17.627
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	2.065.556	1.106.163	1.721.857	1.083.620	1.030.068	575.419	742.801	404.619	941.854	527.756	817.898	936.943
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	7.573.707	4.055.931	6.313.476	3.973.272	3.776.916	2.109.870	2.723.602	1.483.601	3.453.466	1.935.105	2.998.961	3.435.457
% de las emisiones totales de CO ₂	65,12	34,88	61,37	38,63	64,16	35,84	64,74	35,26	64,09	35,91	46,61	53,39



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN CARIBE

Clase de fragmentación	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	50.813	30.157	47.429	25.494	17.343	17.350	12.375	18.161	18.871	23.412	16.432	26.678
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	3.947.836	1.542.248	3.466.769	1.276.846	1.371.526	859.081	1.105.366	828.498	1.767.675	1.063.324	1.620.677	1.213.292
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	14.475.399	5.654.908	12.711.487	4.681.769	5.028.930	3.149.965	4.053.008	3.037.824	6.481.476	3.898.854	5.942.481	4.448.736
% de las emisiones totales de CO ₂	71,91	28,09	73,08	26,92	61,49	38,51	57,16	42,84	62,44	37,56	57,19	42,81



RESULTADOS A NIVEL REGIONAL: REGIÓN PACÍFICO

Clase de fragmentación	2000-2005		2005-2010		2010-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.	Def.	Deg.
Pérdida de área anual (ha/año)	29.623	35.112	27.833	60.815	4.693	9.708	5.016	33.369	13.830	28.230	12.147	31.516
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	3.115.922	1.644.854	3.068.424	3.019.207	530.854	403.917	564.484	1.335.013	1.623.216	1.168.088	1.397.792	1.349.684
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	11.425.046	6.031.130	11.250.887	11.070.427	1.946.465	1.481.028	2.069.774	4.895.047	5.951.792	4.282.988	5.125.236	4.948.843
% de las emisiones totales de CO ₂	65,45	34,55	50,40	49,60	56,79	43,21	29,72	70,28	58,15	41,85	50,88	49,12

SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS: NIVEL NACIONAL

El resultado más impactante a nivel nacional es que el área afectada por degradación disminuyó 46,04% entre los periodos 2012-2013 y 2013-2014, con un posterior aumento de 66,04% entre los periodos 2013-2014 y 2014-2015.

Es de notar también que el porcentaje de emisiones por degradación

fue especialmente **MAYOR** durante los periodos **2012-2013** y **2014-2015**

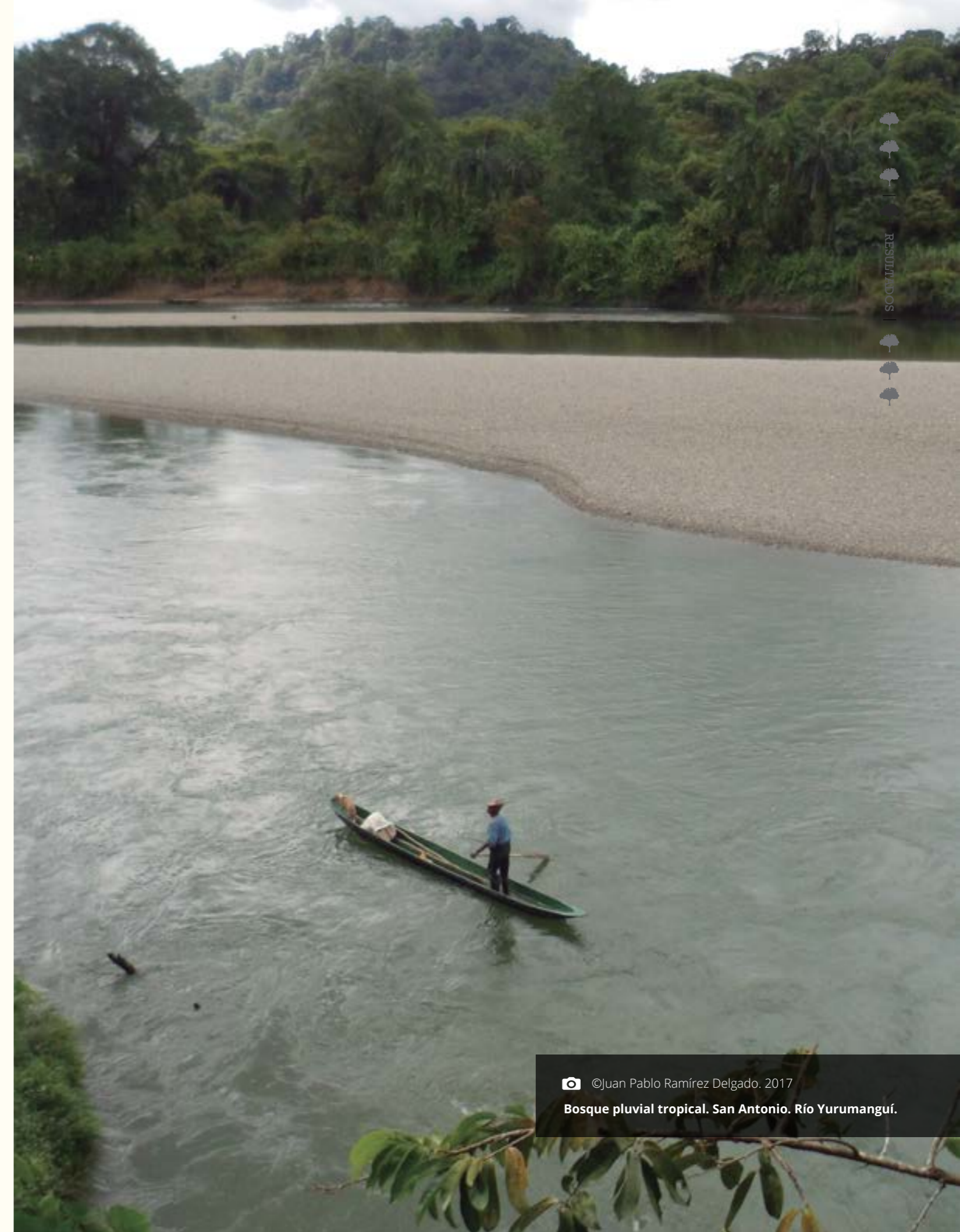
en comparación con los demás periodos, y que la pérdida de biomasa por degradación disminuyó

46,28%

entre los periodos 2012-2013 y 2013-2014,

con un posterior aumento de

92,71% entre **2013-2014** y **2014-2015 (Cuadro 5).**

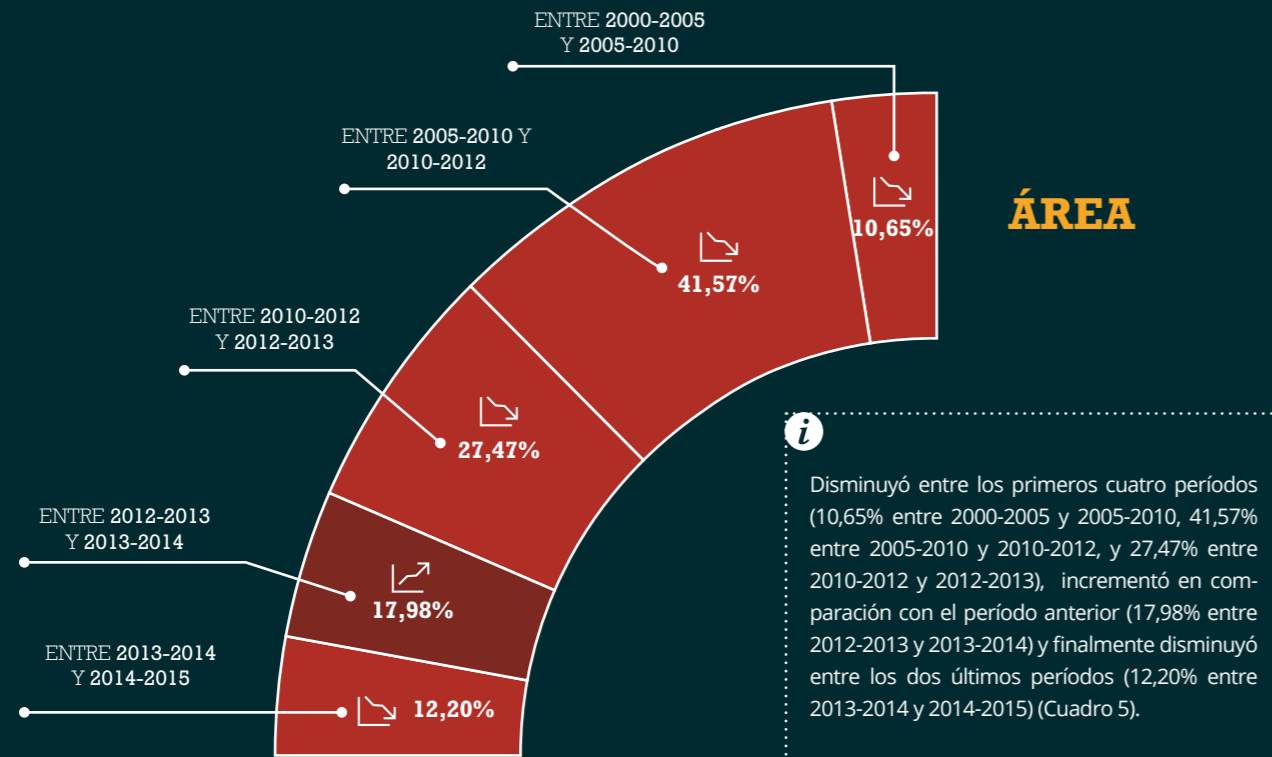


PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

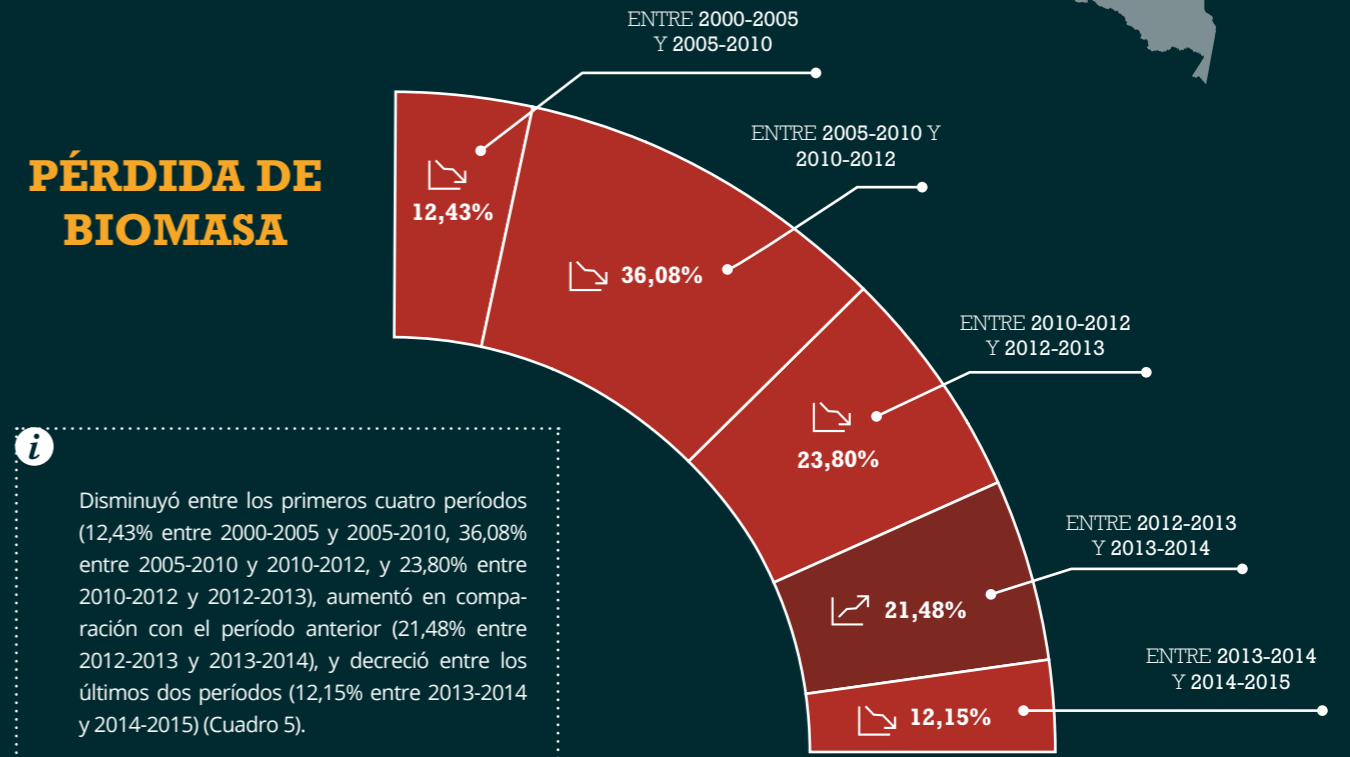
*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



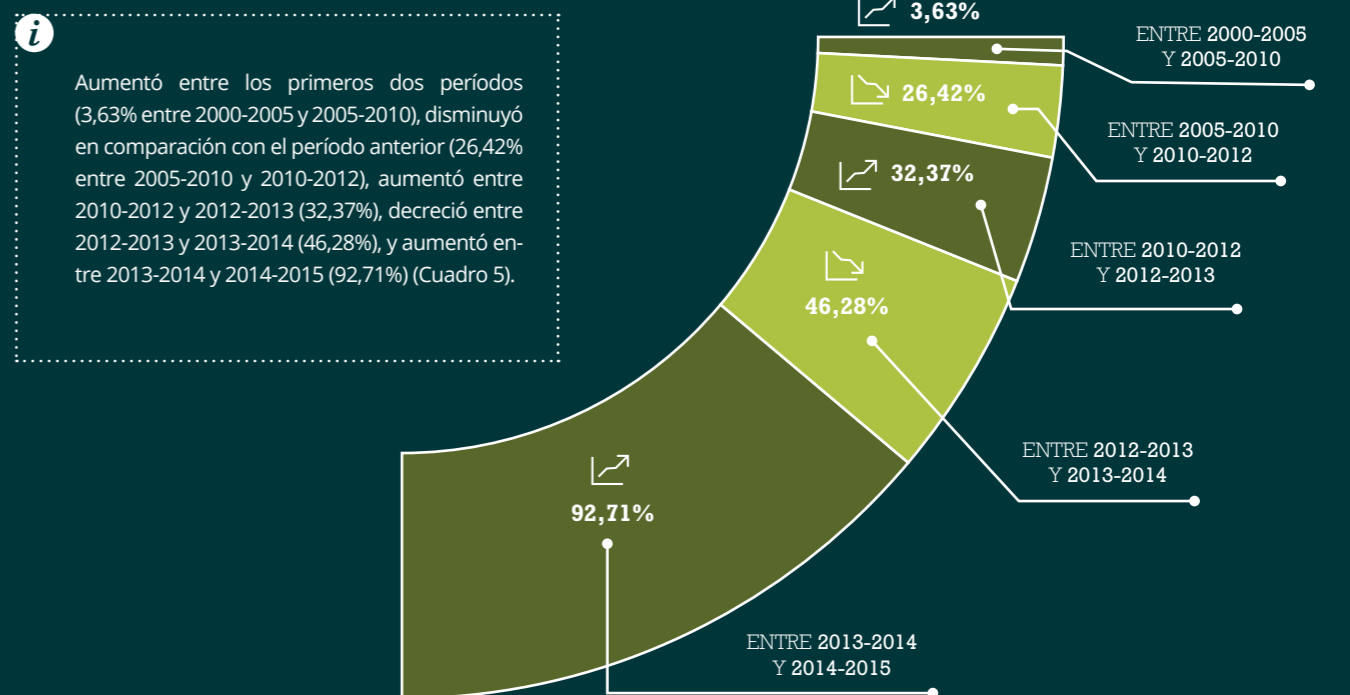
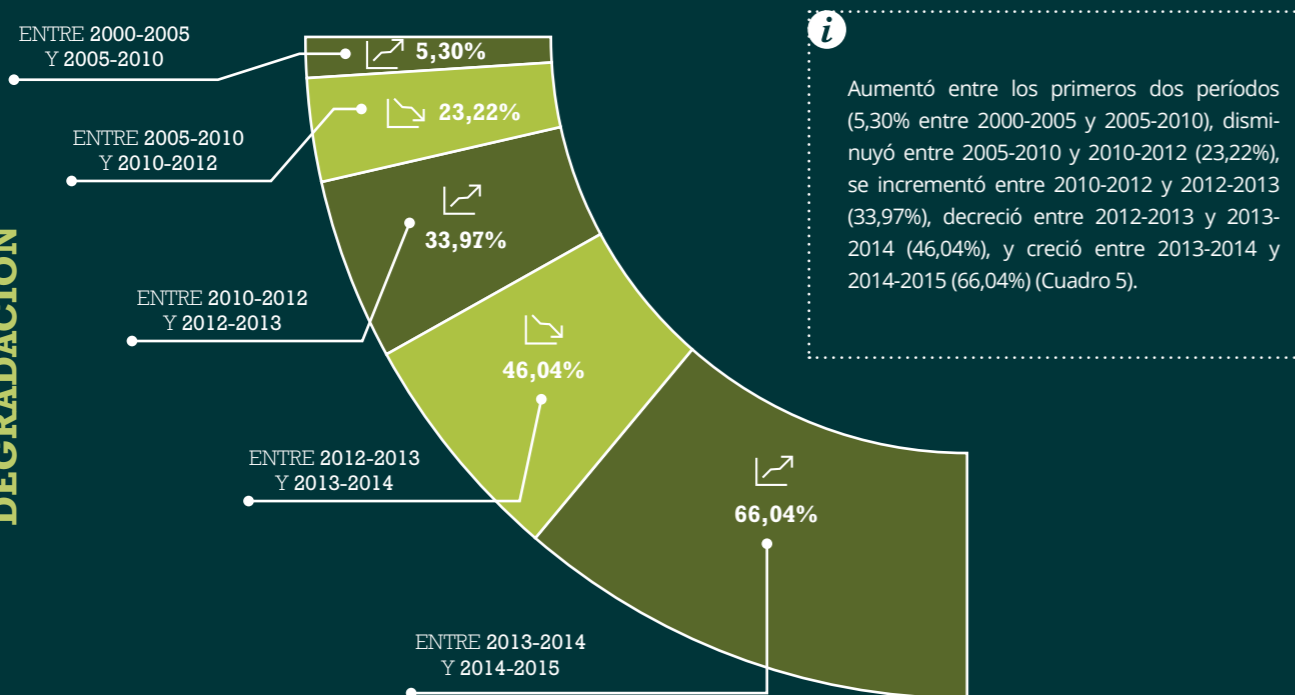
DEFORESTACIÓN



PÉRDIDA DE BIOMASA



DEGRADACIÓN



REGIÓN AMAZÓNICA

En la región Amazónica, el área de degradación siempre fue mayor que el área de deforestación (en promedio, 19,04% más que la afectada por deforestación), con excepción a lo ocurrido en el período 2013-2014, cuando la superficie de deforestación superó a la de degradación, con una diferencia de 1,03% (Cuadro 5, Cuadro 6).

La pérdida de biomasa y las emisiones de CO₂ de la región Amazónica mostraron ser mayores en deforestación que en degradación durante todos los períodos evaluados:

en promedio,
24,68%
más que en degradación,

con la excepción de lo ocurrido en los períodos 2012-2013 y 2014-2015,

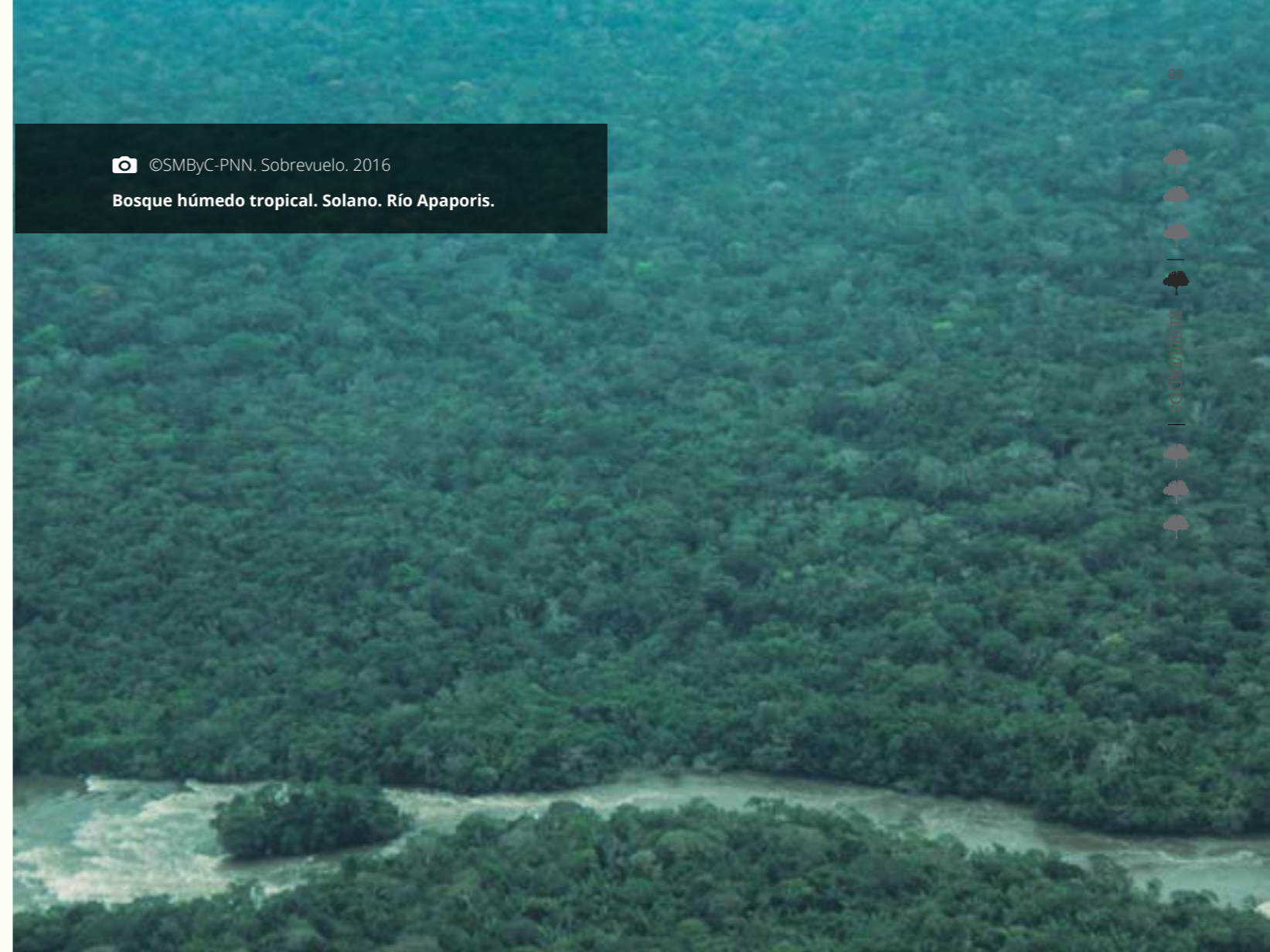
cuando el porcentaje de las emisiones totales de CO₂ por degradación fue de:

**57,67%
y 61,26%** (Cuadro 5, Cuadro 6)

Aunque en general la deforestación se ha venido reduciendo en la región Amazónica, el resultado más impactante es que:

El área de degradación de bosques aumentó
150,15%
entre los períodos 2013-2014 y 2014-2015

Las emisiones de CO₂ aumentaron
201,10%
entre los mismos períodos (Cuadro 6).

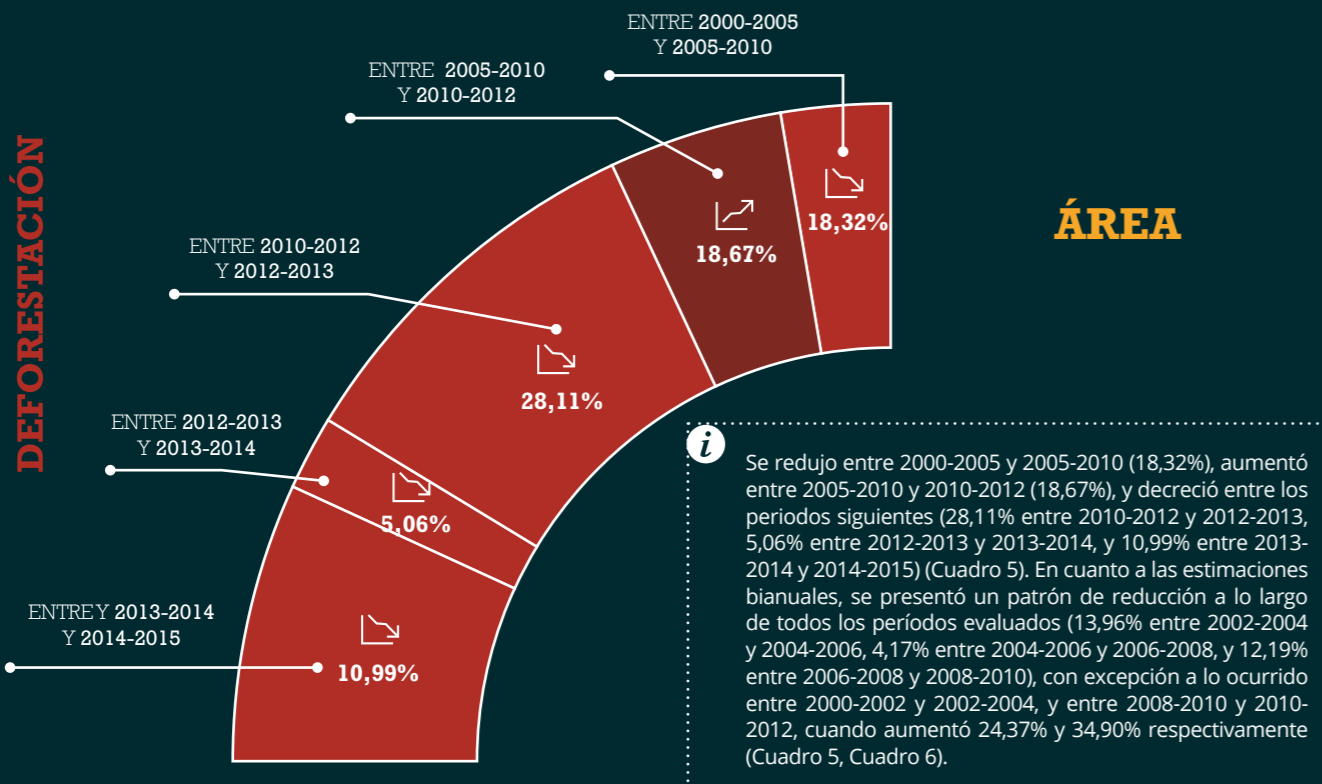


Cuadro 6. Contribución de la deforestación (Def.) y la degradación de bosques (Deg.) al total de las emisiones de la región Amazónica durante los períodos 2000-2002, 2002-2004, 2004-2006, 2006-2008 y 2008-2010. El área total de deforestación podría variar de lo reportado oficialmente por el IDEAM, debido a los ajustes realizados para asegurar la completitud y coherencia de la serie histórica, y a la proyección utilizada para los fines de esta investigación (EPSG: 32618, WGS84 / UTM zona 18N). Los factores de emisión utilizados para la estimación de la pérdida de biomasa media anual por deforestación y degradación se pueden encontrar en el Anexo 3.

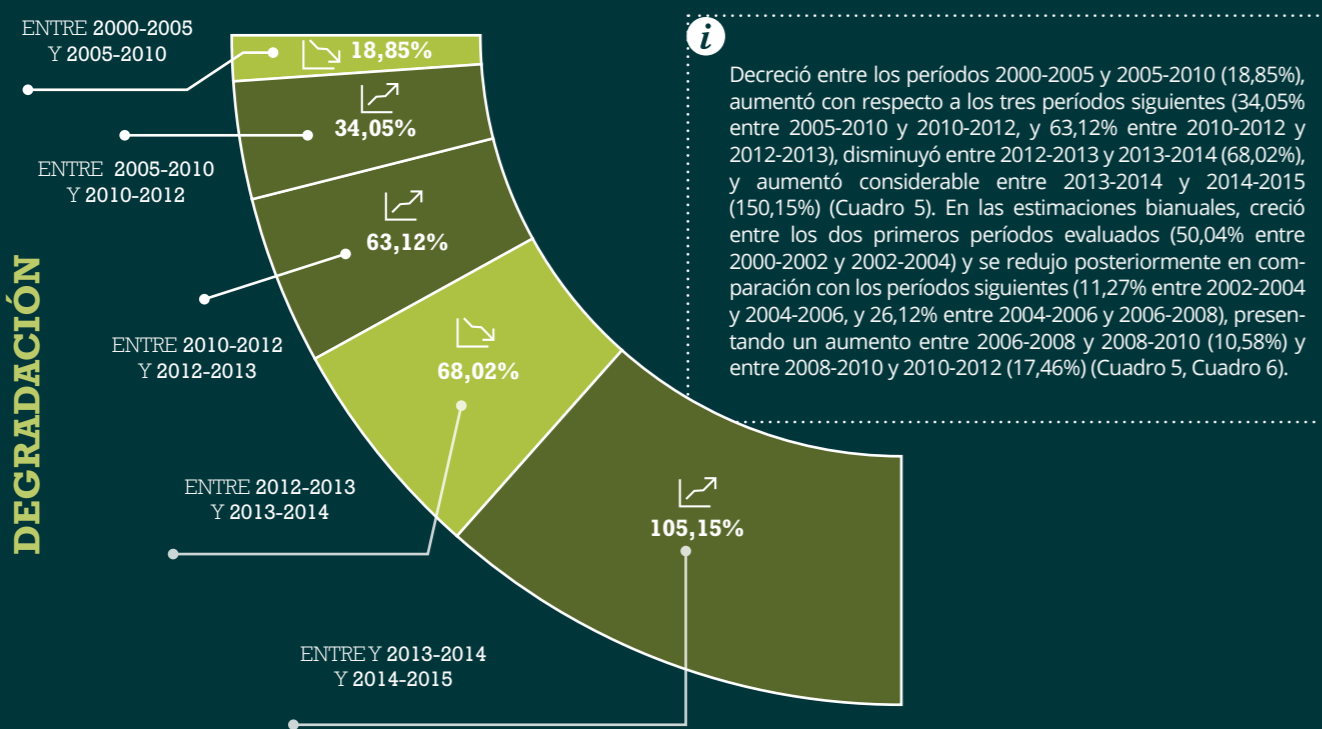
	2000-2002		2002-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010	
	Deforestación	Degradación	Deforestación	Degradación	Deforestación	Degradación	Deforestación	Degradación	Deforestación	Degradación
Pérdida de área anual (ha/año)	77.028	93.854	95.798	140.823	82.422	124.955	78.985	92.320	69.356	102.084
Pérdida de biomasa media anual (MgC/año)	7.218.711	4.432.203	9.327.768	6.879.248	7.968.268	5.971.492	7.558.488	4.566.593	6.550.492	4.805.630
Toneladas equivalentes de CO ₂ (MgCO ₂ /año)	26.468.607	16.251.410	34.201.815	25.223.908	29.216.984	21.895.472	27.714.458	16.744.175	24.018.472	17.620.645
% de las emisiones totales de CO ₂	61,96	38,04	57,55	42,45	57,16	42,84	62,34	37,66	57,68	42,32

PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

DEFORESTACIÓN



DEGRADACIÓN

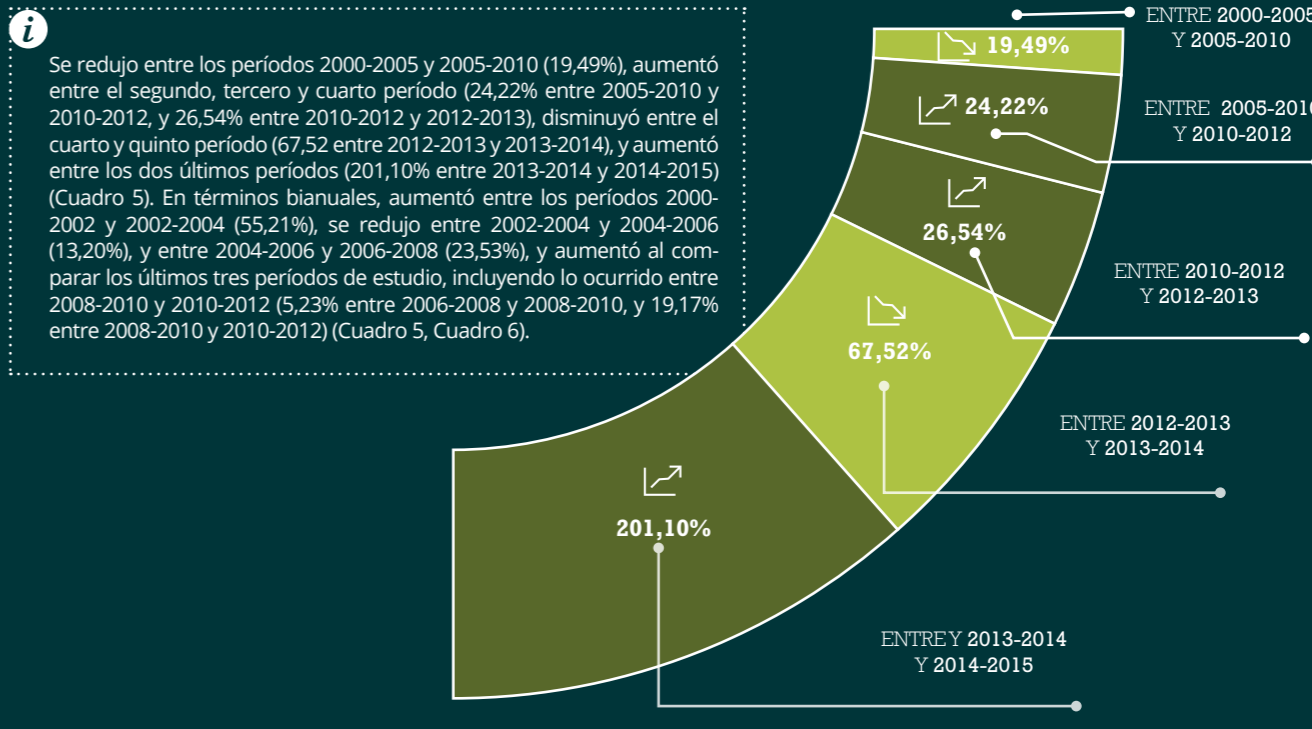
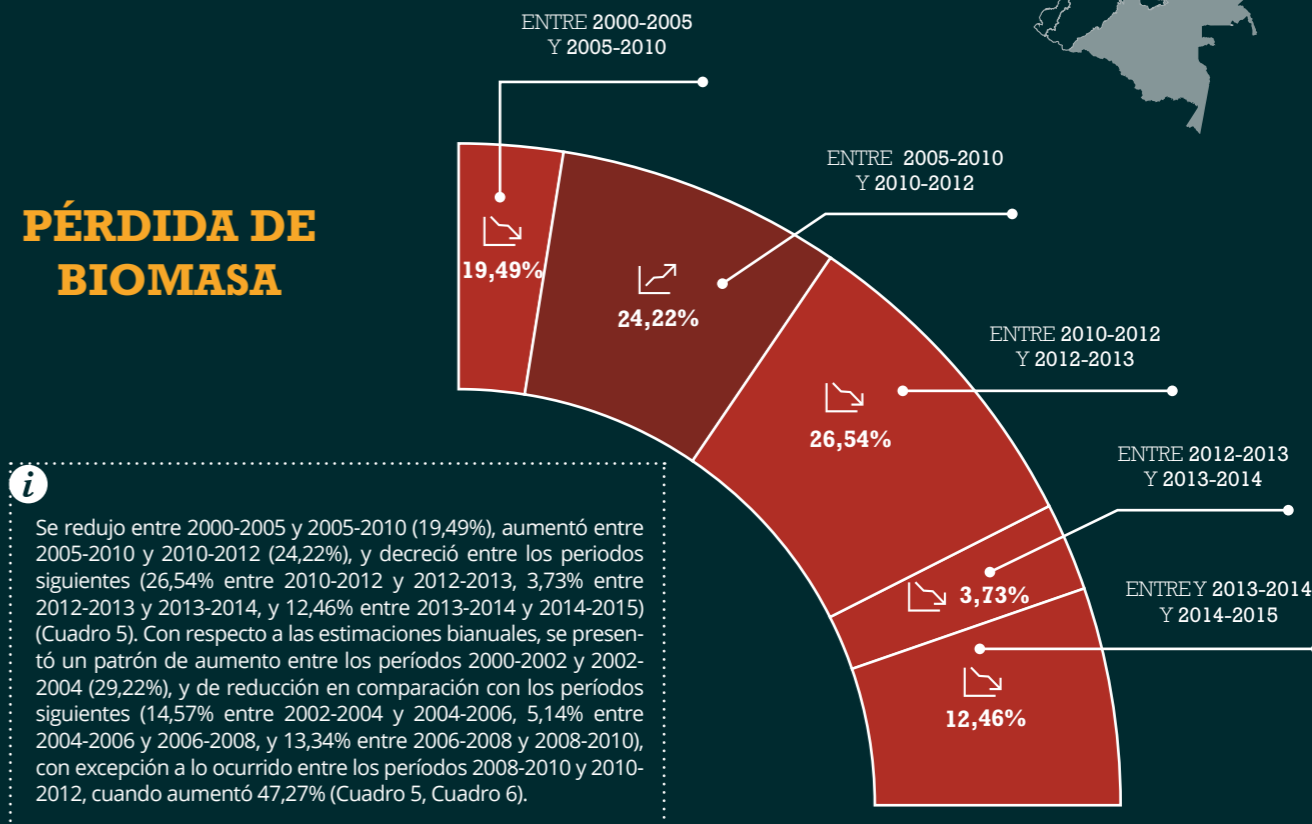


*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



RESULTADOS

PÉRDIDA DE BIOMASA



REGIÓN ANDINA

En la región Andina, el área en deforestación siempre fue menor que el área en degradación durante todos los períodos evaluados, con una diferencia en promedio de **28,44%** (Cuadro 5).

En cuanto a la pérdida de biomasa y de CO₂e, se aprecia que su magnitud en áreas deforestadas fue mayor que en degradación durante los primeros dos períodos de estudio:

24,87% y 15,41%
más en deforestación que en degradación en 2000-2005 y 2005-2010 respectivamente.

Al igual que en 2013-2014:

15,75%
más en deforestación que en degradación.



Durante el tercer, cuarto y sexto período (2010-2012, 2012-2013 y 2014-2015), la pérdida de biomasa y de CO₂e fue mayor en degradación, con una diferencia en promedio de

10,87% (Cuadro 5).

El resultado más llamativo de la región Andina es que:

Tanto la pérdida de área como la pérdida de biomasa por deforestación tuvieron una reducción de

Más del 60%

entre los períodos 2005-2010 y 2010-2012

En el período 2012-2013, el área de degradación superó con

Más del 50%

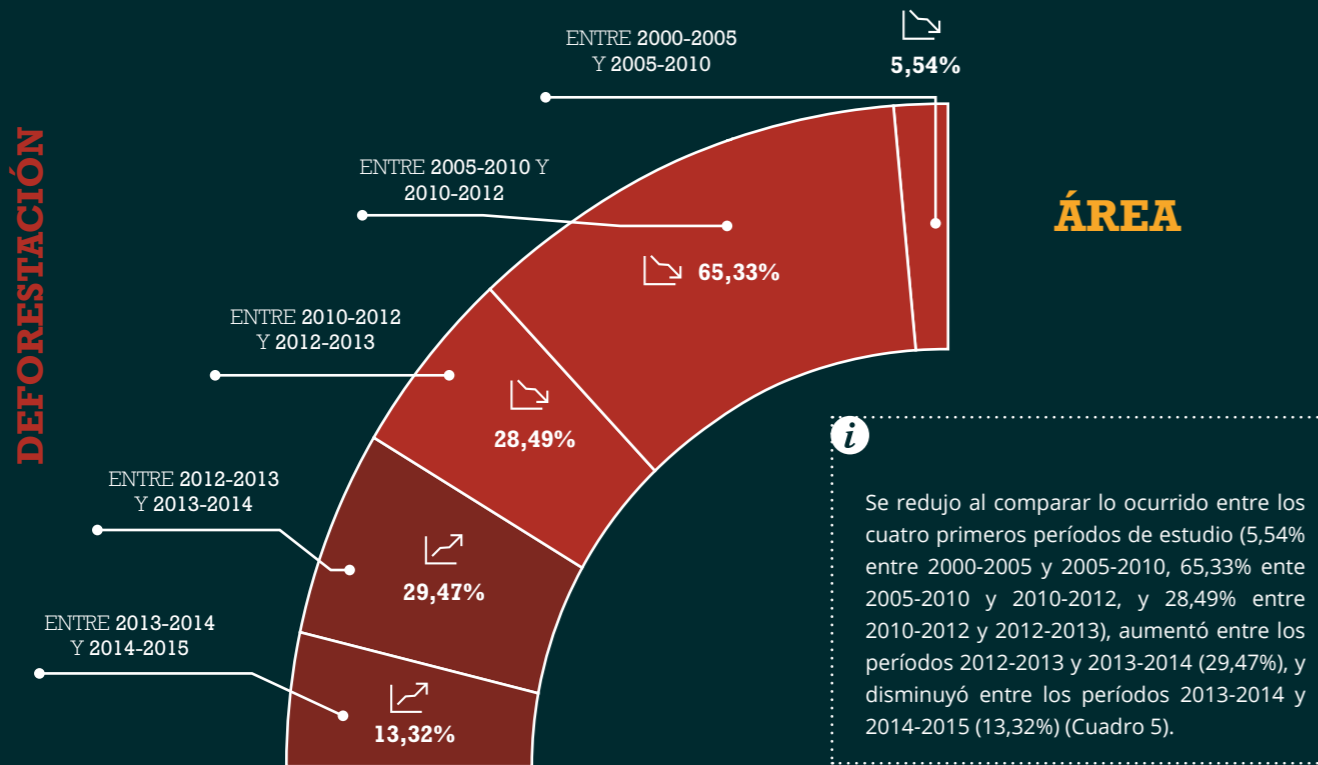
al área de deforestación (Cuadro 6).

PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

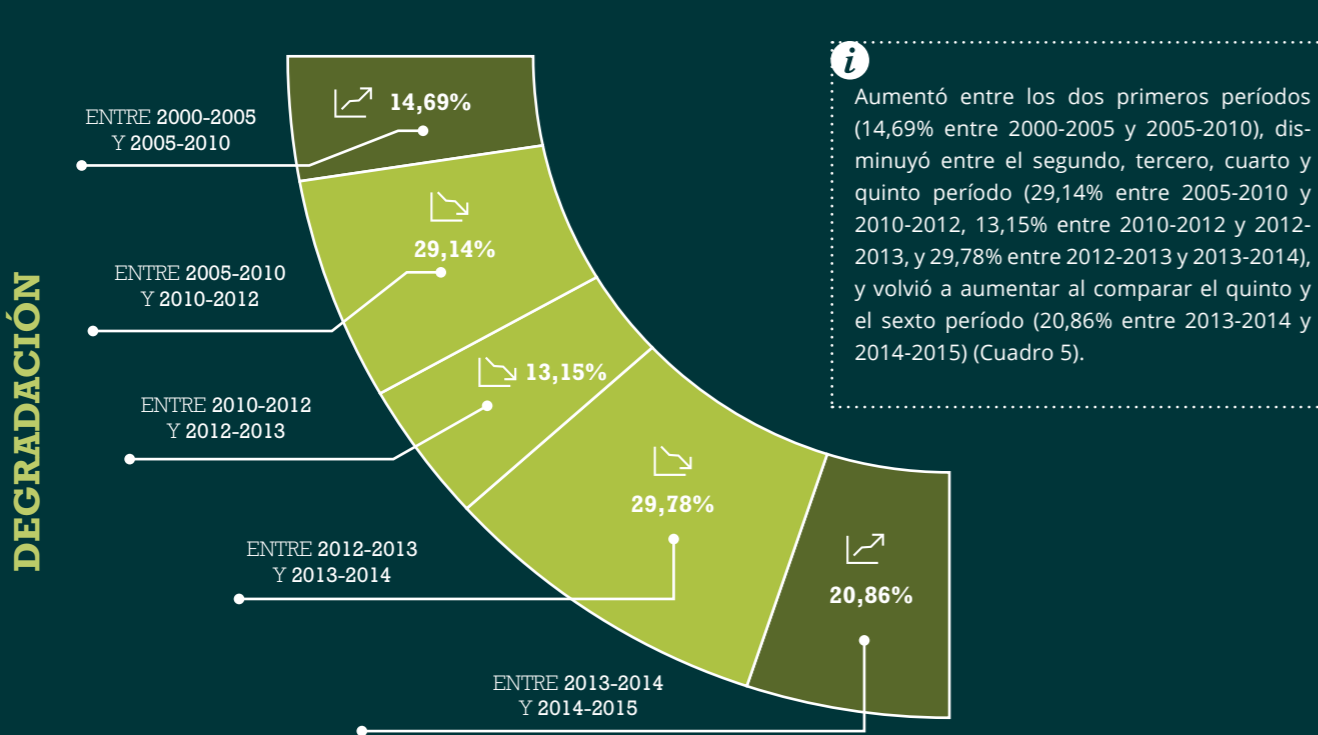
*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



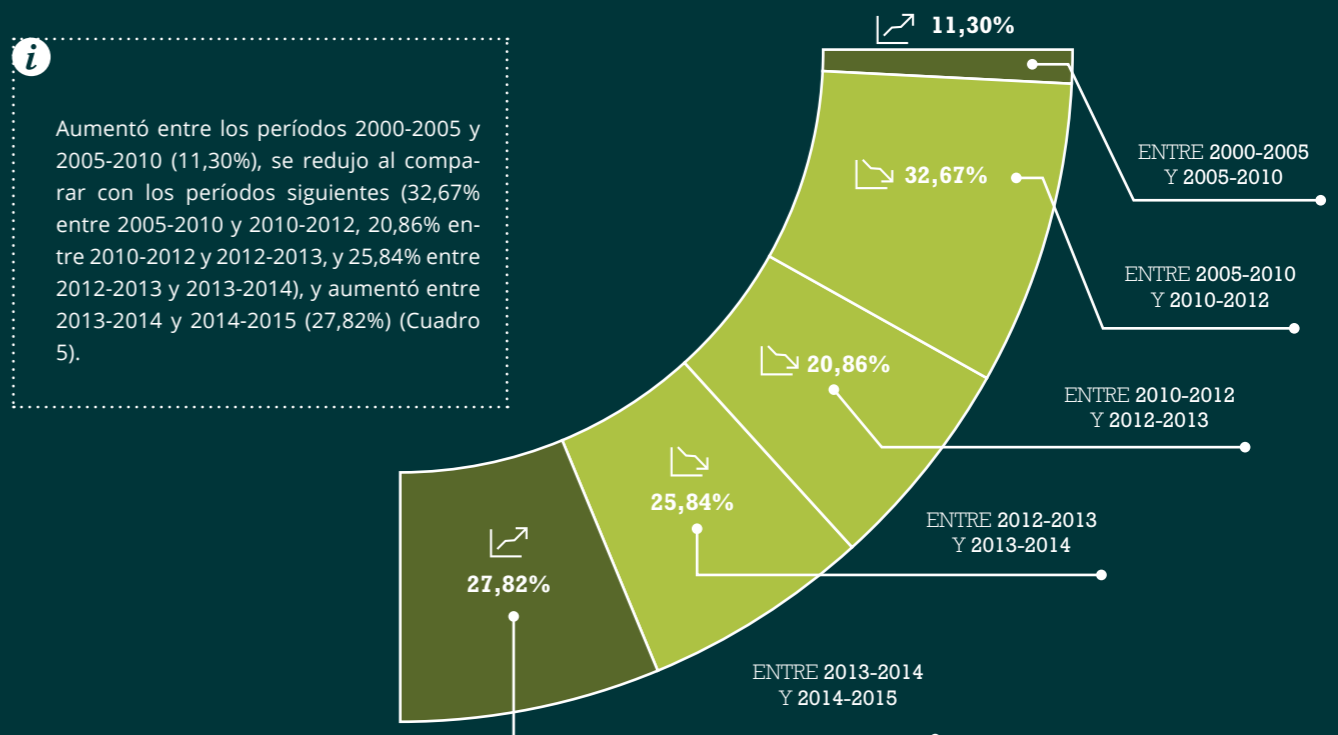
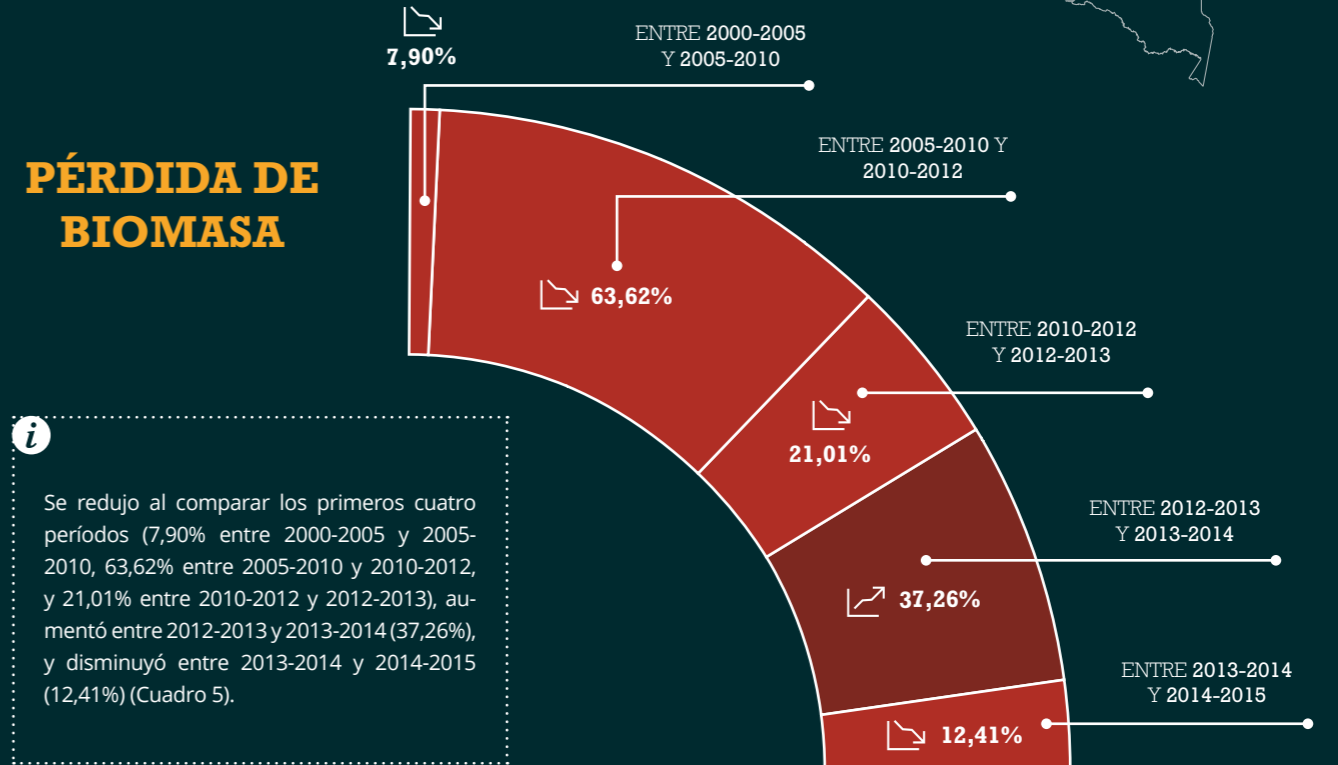
DEFORESTACIÓN



DEGRADACIÓN



PÉRDIDA DE BIOMASA



REGIÓN ORINOQUÍA

En la región Orinoquía, las áreas de deforestación fueron mayores a las áreas de degradación (en promedio, 6,67% más que en degradación), con la excepción a lo ocurrido en el último período, cuando el área de degradación superó con más del **65%** al área de deforestación (Cuadro 5).

Las pérdidas de biomasa y de CO₂e de la región Orinoquía fueron por lo general mayores en deforestación que en degradación:

en promedio,
27,79%
más que en degradación.

Sin embargo, la degradación superó a la deforestación con

más de 6,78%

de emisiones de CO₂ durante el último período evaluado (Cuadro 5).

De los resultados presentados de la región Orinoquía, se puede destacar lo ocurrido entre los períodos 2013-2014 y 2014-2015:

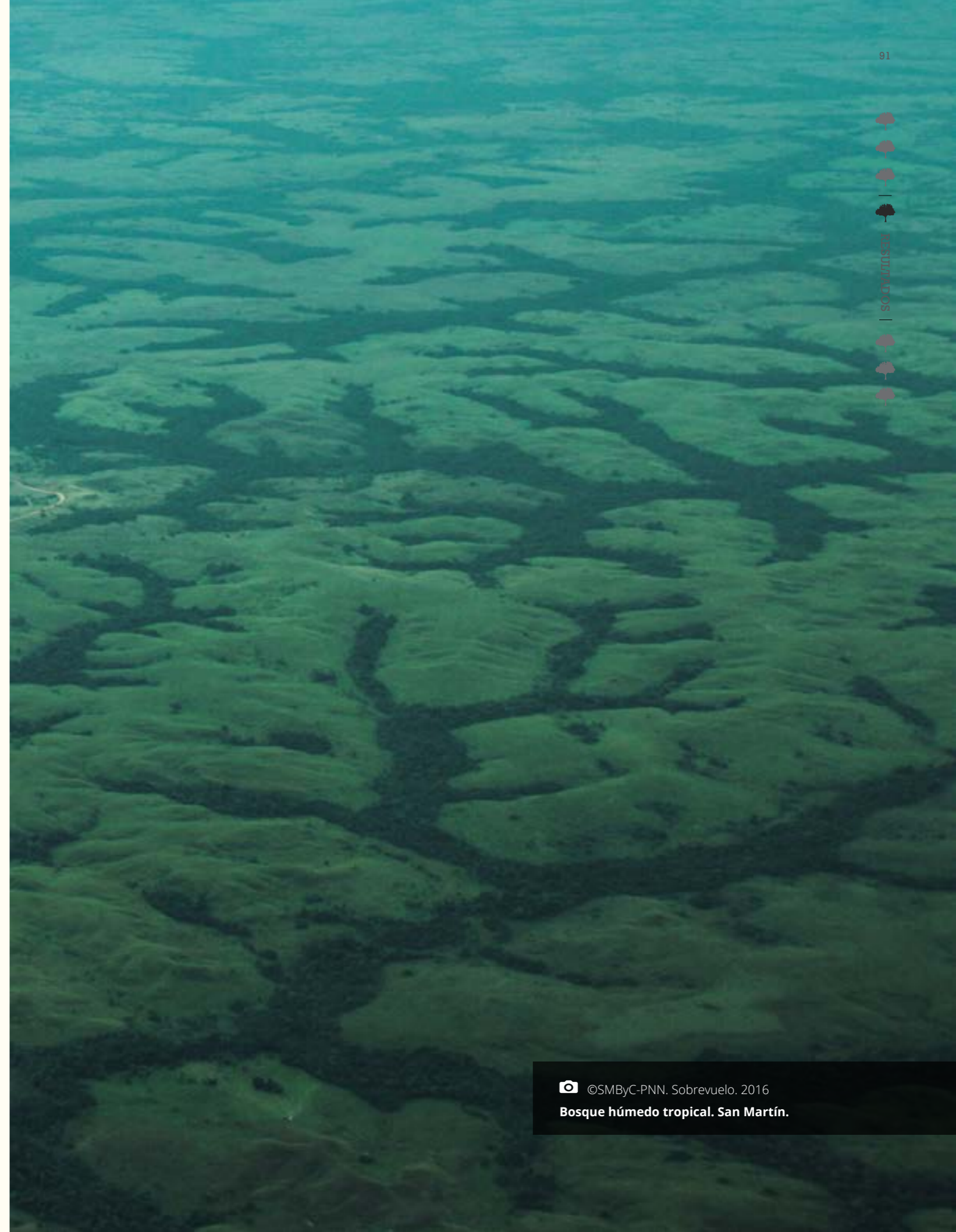
El área de degradación aumentó

Más del 68%

La pérdida de biomasa por degradación y de CO₂e superó el

77%

(Cuadro 6).

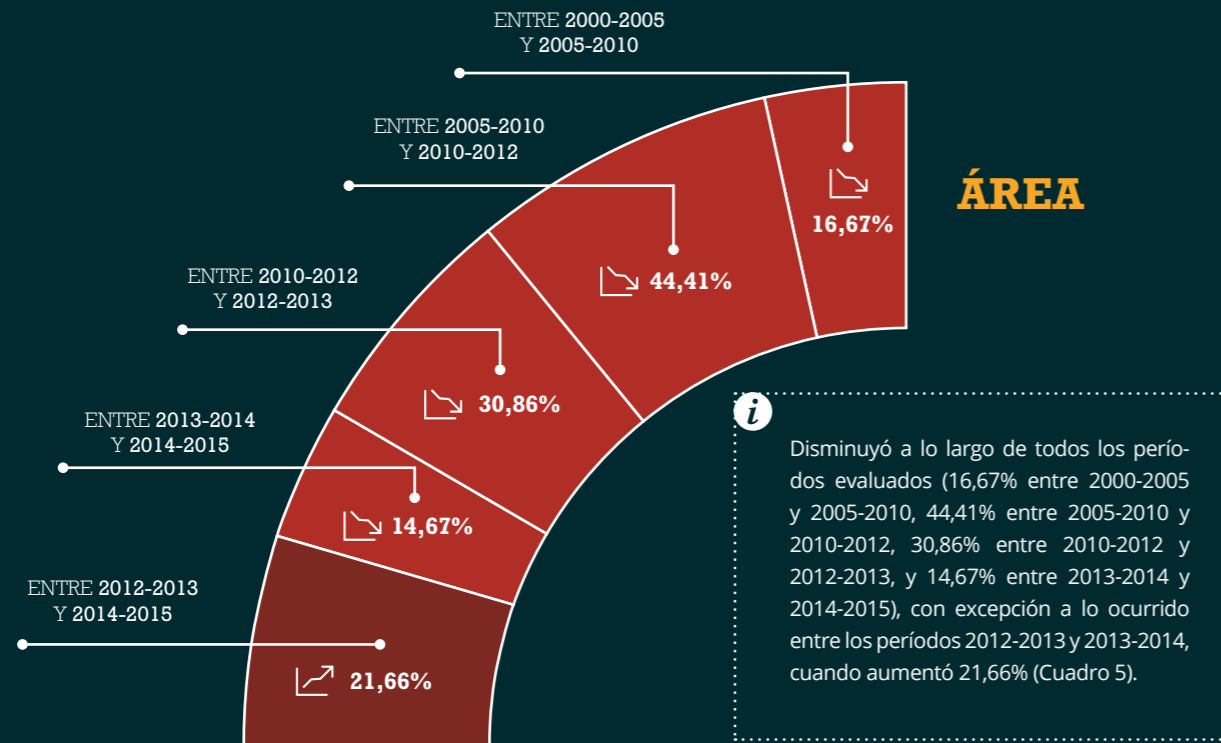


PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

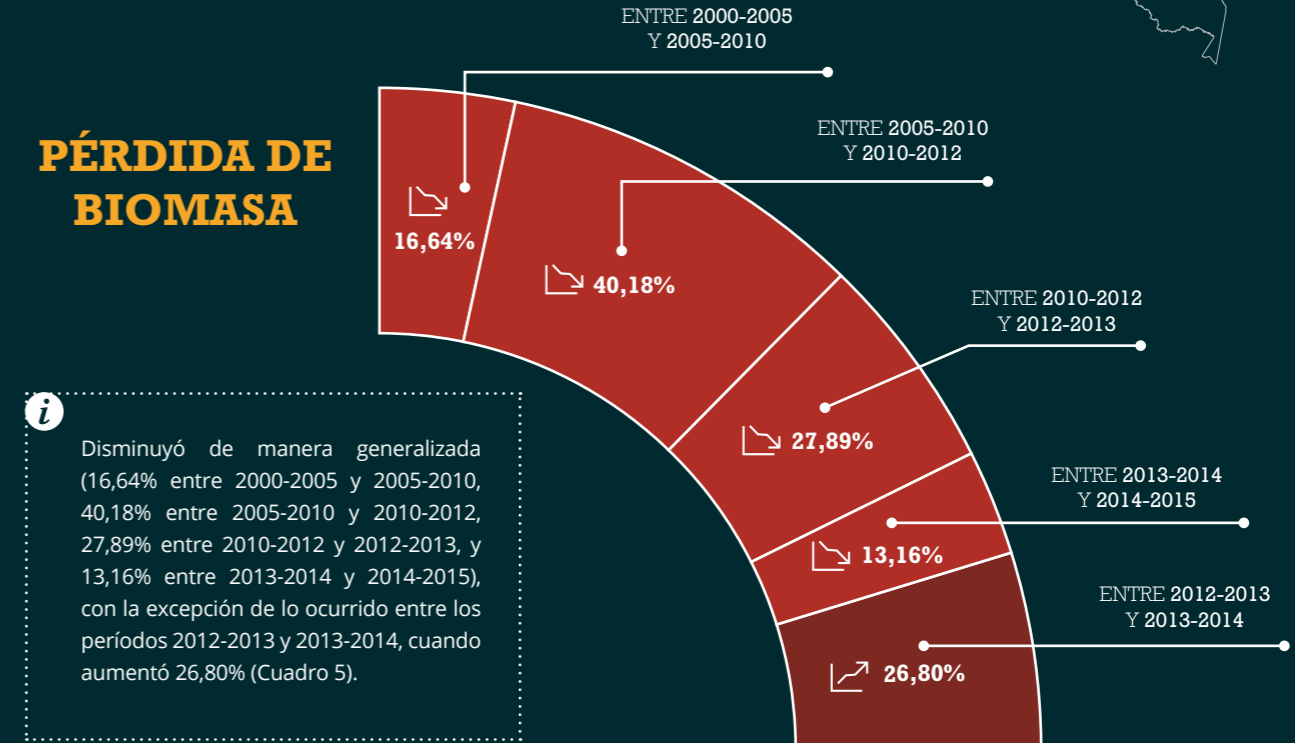
*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



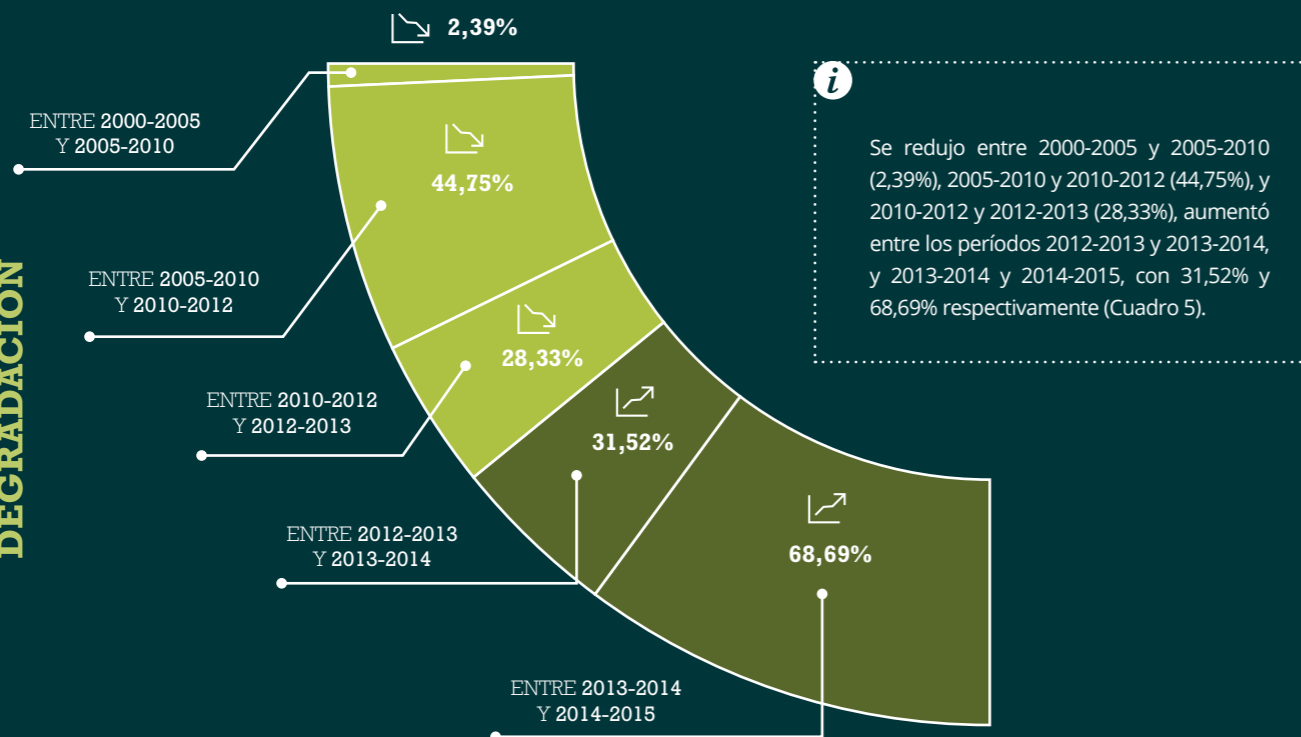
DEFORESTACIÓN



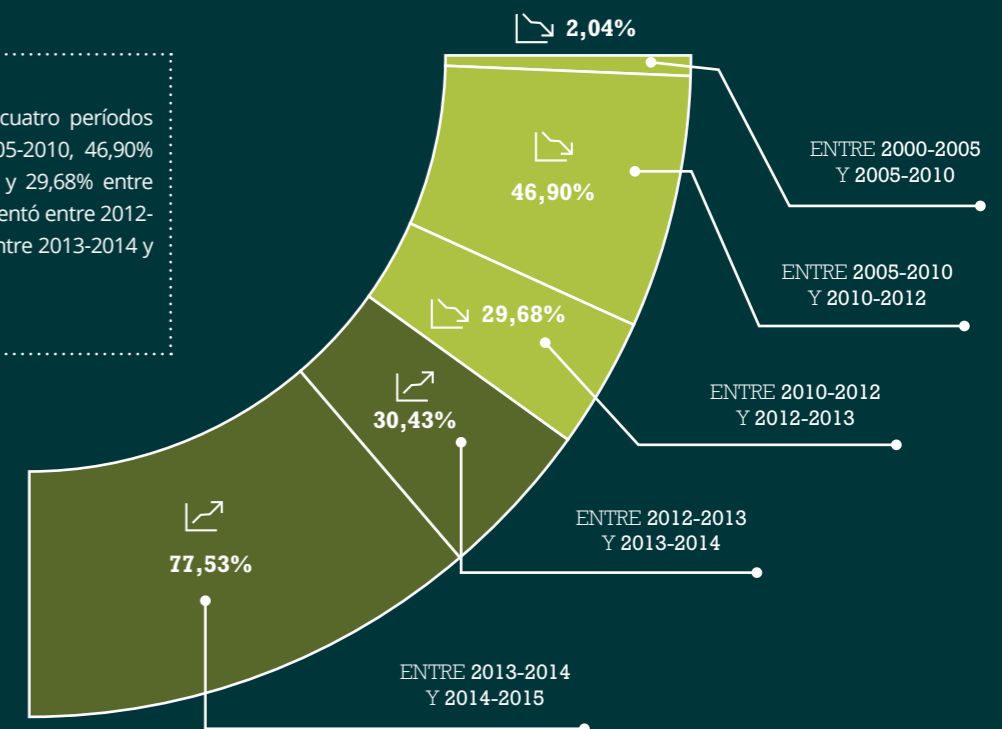
PÉRDIDA DE BIOMASA



DEGRADACIÓN



i Se redujo entre los primeros cuatro períodos (2,04% entre 2000-2005 y 2005-2010, 46,90% entre 2005-2010 y 2010-2012, y 29,68% entre 2010-2012 y 2012-2013), y aumentó entre 2012-2013 y 2013-2014 (30,43%), y entre 2013-2014 y 2014-2015 (77,53%) (Cuadro 5).



REGIÓN CARIBE

En la región Caribe, el área de degradación superó por lo general el área de deforestación (en promedio, 13,37% más que en deforestación), con excepción de lo ocurrido en los periodos 2000-2005 y 2005-2010, cuando el área de deforestación superó el área de degradación, con una diferencia de **25,51%** y **20,08%** respectivamente (Cuadro 5).

La pérdida de biomasa y de CO₂e de esta región fue siempre mayor en deforestación que en degradación, con una diferencia en promedio de:

27,75%

(Cuadro 6).

El resultado más destacable de la región Caribe es que:

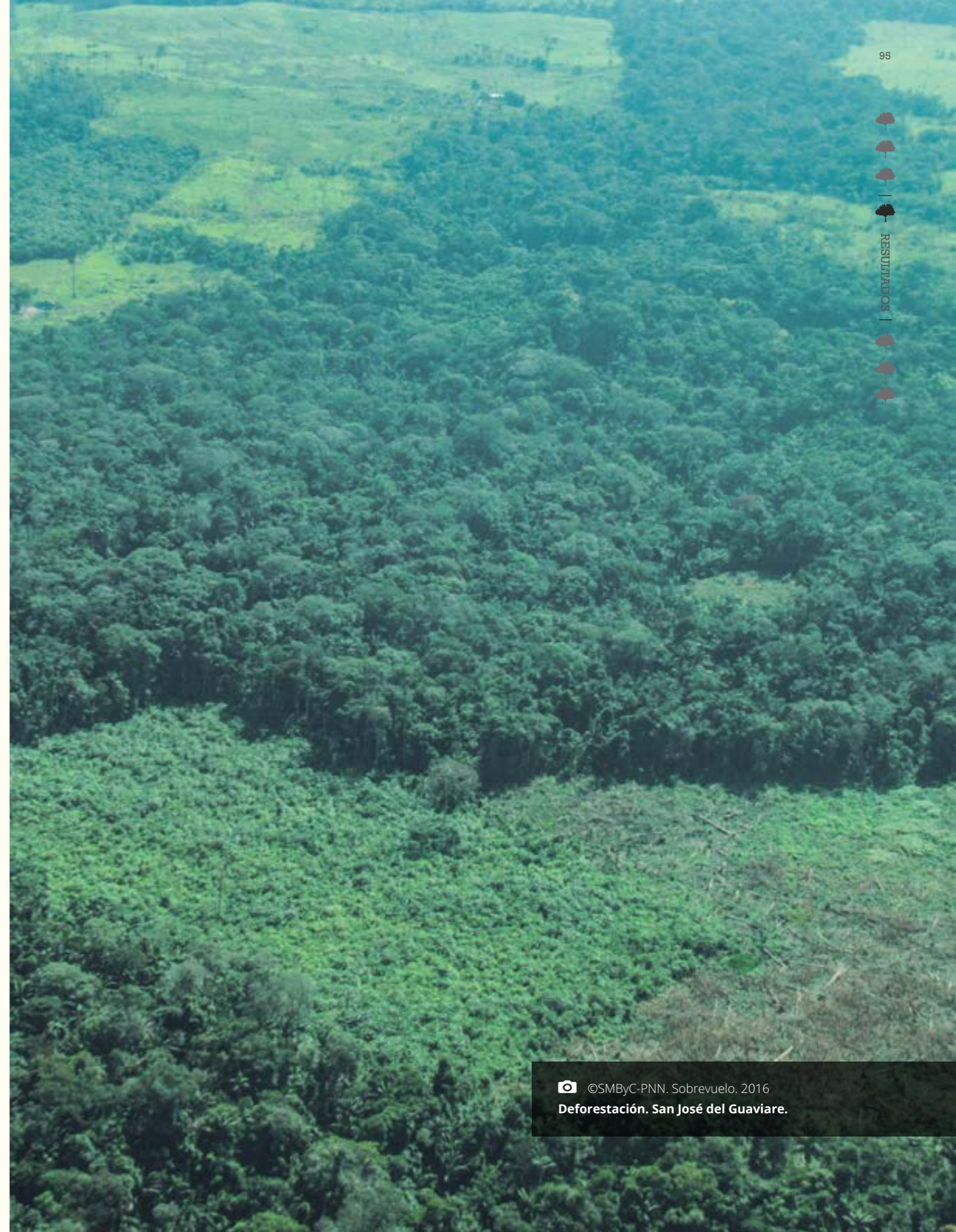
El área de deforestación y la pérdida de biomasa y de CO₂e aumentó

Más del 60%

entre los periodos 2005-2010 y 2010-2012

Más del 50%

entre los periodos 2012-2013 y 2013-2014 (Cuadro 5).

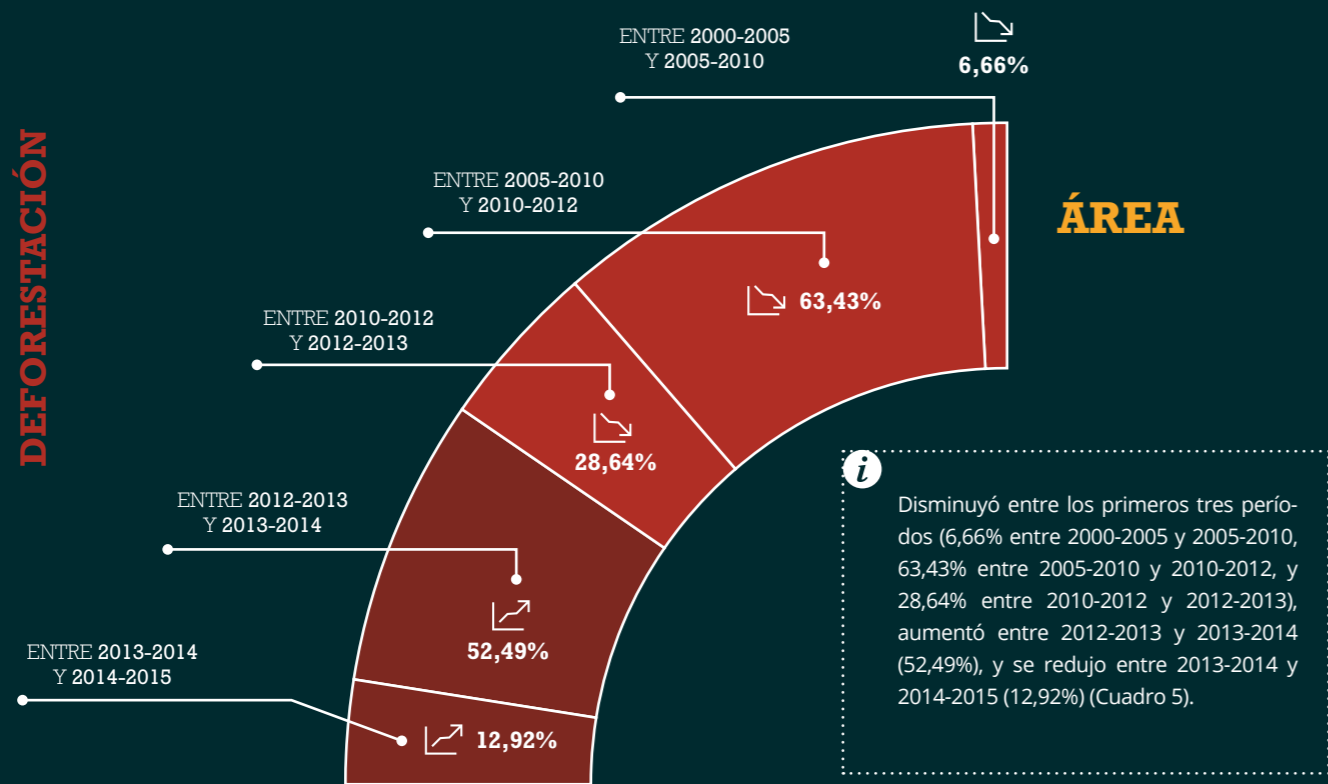


PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

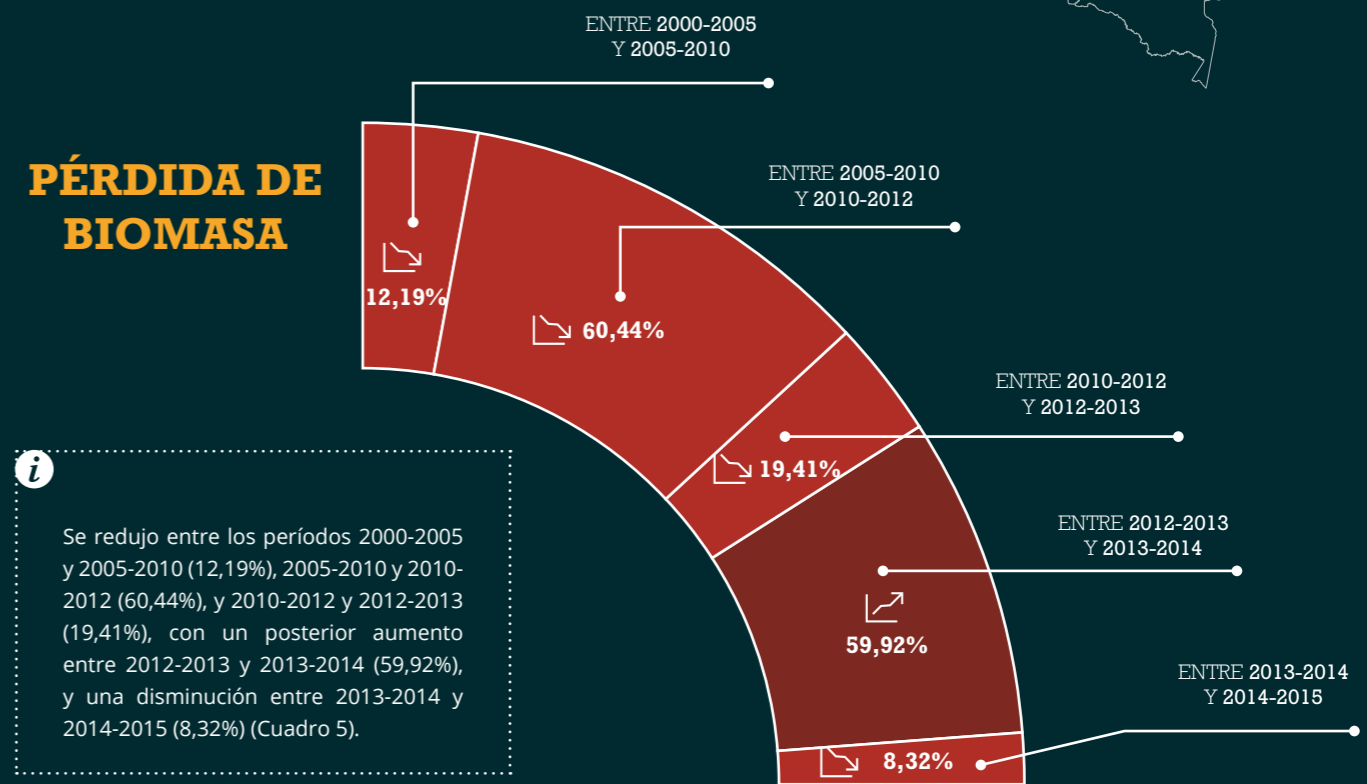
*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



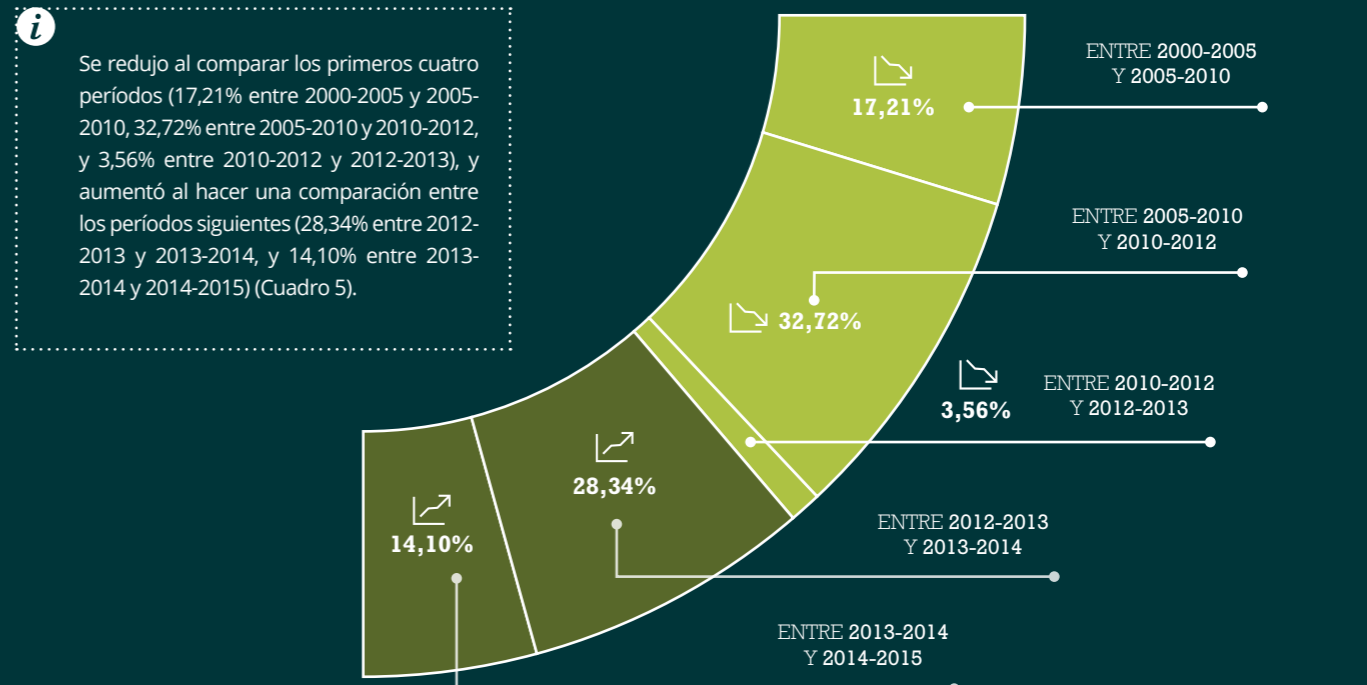
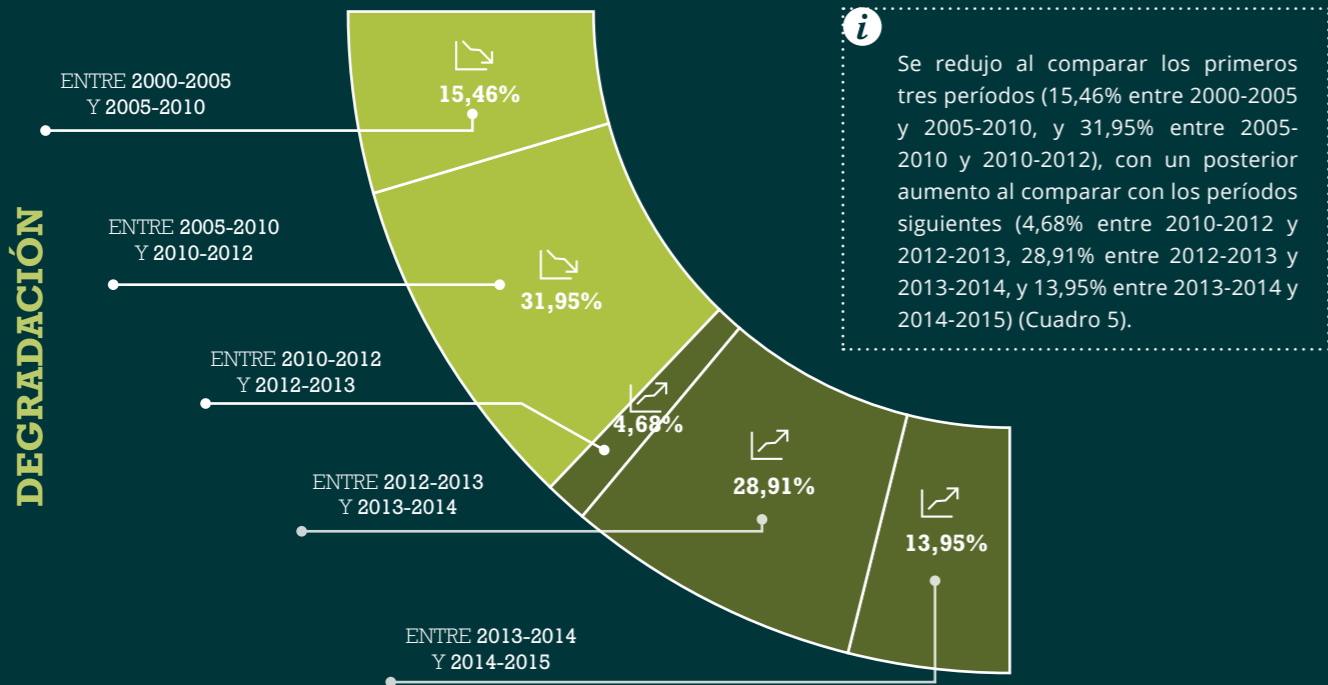
DEFORESTACIÓN



PÉRDIDA DE BIOMASA



DEGRADACIÓN



REGIÓN PACÍFICO

En la región Pacífico, el área de deforestación siempre fue menor que el área de degradación a lo largo de todos los períodos de estudio (en promedio, **38,83%** más que el área de deforestación) (Cuadro 5).

La pérdida de biomasa y de CO₂e de la región Pacífico fue por lo general mayor en deforestación que en degradación:

en promedio,
12,67%
más que en
degradación,

con excepción de lo ocurrido en el período 2012-2013, cuando la degradación superó a la deforestación con una diferencia de

40,56%

(70,28% de las emisiones totales de la región) (Cuadro 5).

El resultado más característico de la región Pacífico es que el área en degradación aumentó más de

243%

entre los períodos 2010-2012 y 2012-2013

La pérdida de biomasa y de CO₂e aumentó más de

230%

al comparar lo ocurrido entre los mismos períodos.

La deforestación, por su parte, tuvo su mayor aumento al comparar los períodos 2012-2013 y 2013-2014:

175,73% y **187,56% más**
más en área en pérdida de biomasa (Cuadro 5).

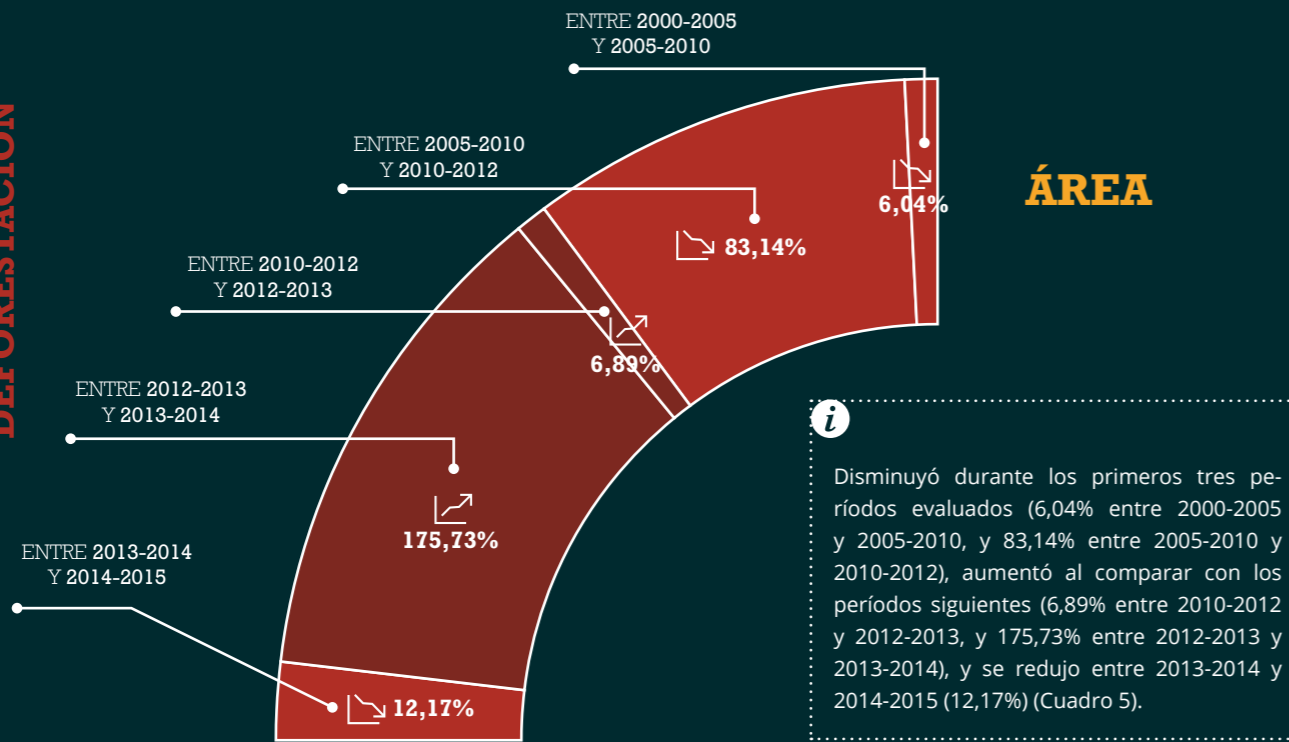


PATRONES EN LAS ESTIMACIONES DE ÁREA Y PÉRDIDA DE BIOMASA

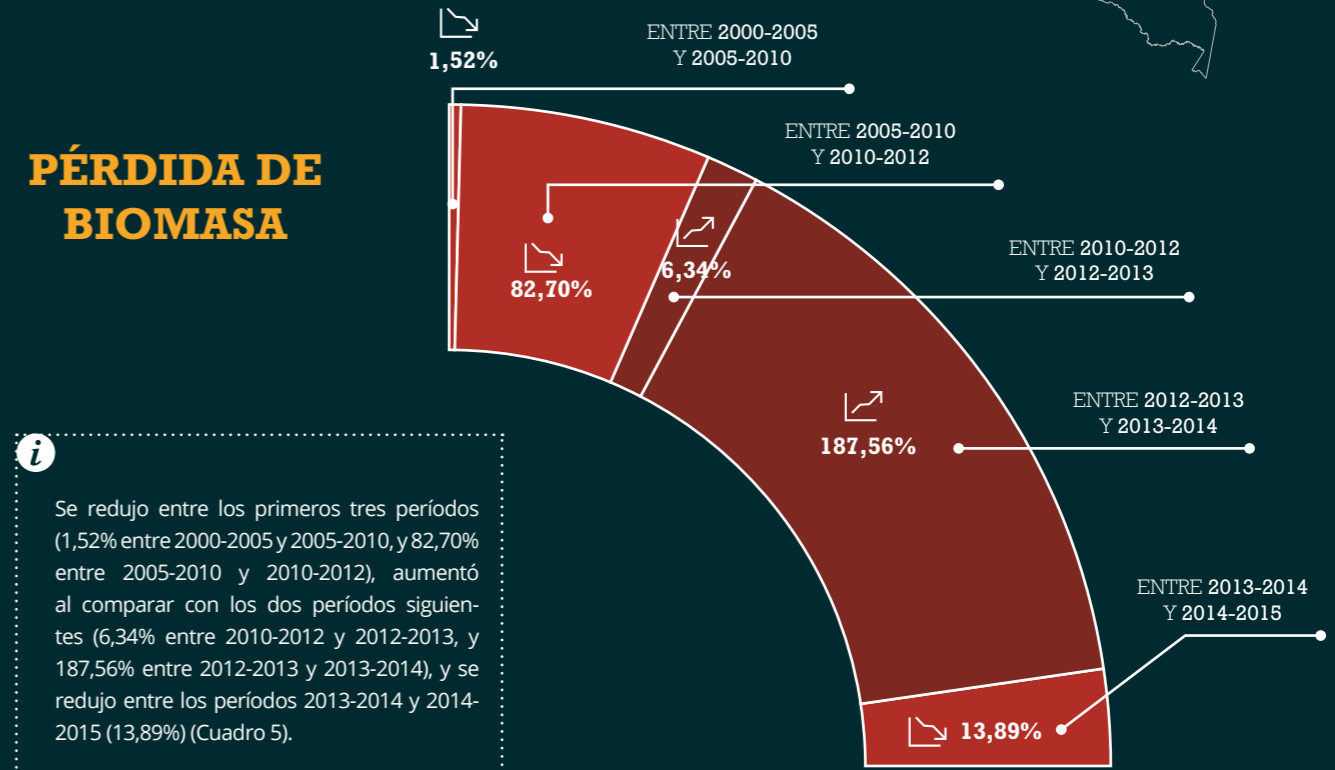
*Los colores más intensos corresponden a los aumentos estimados entre periodos.



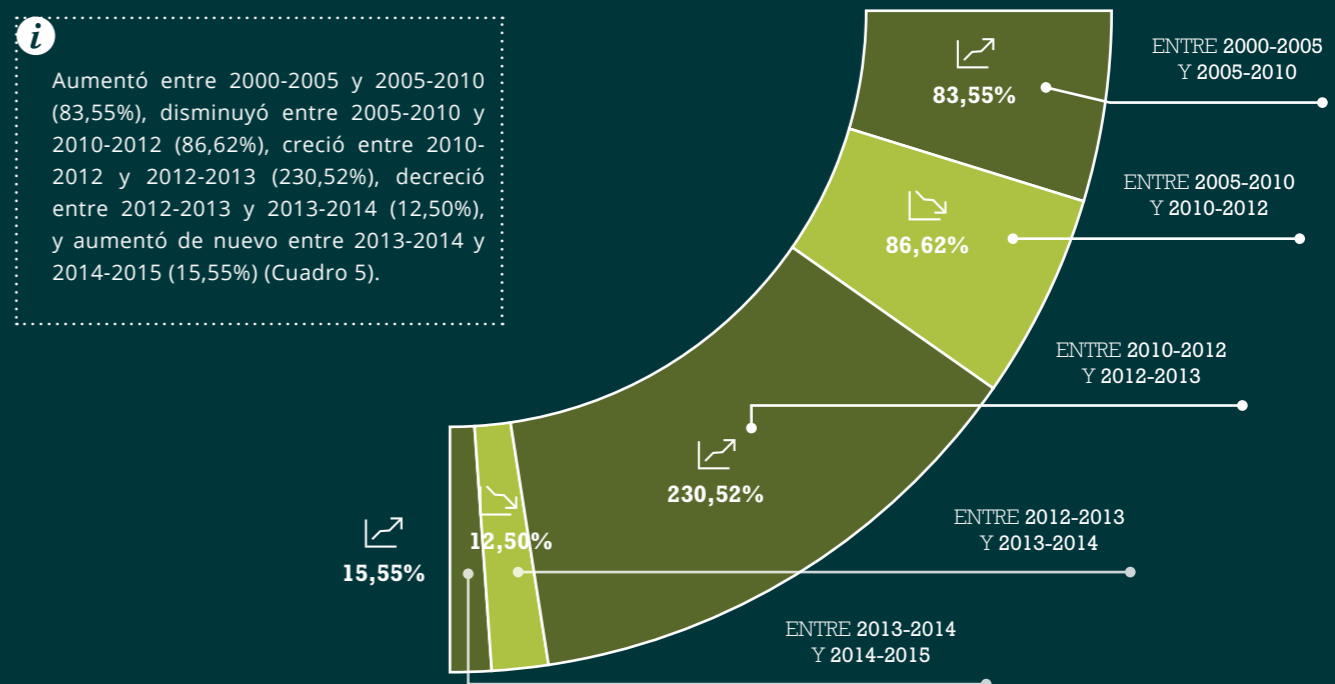
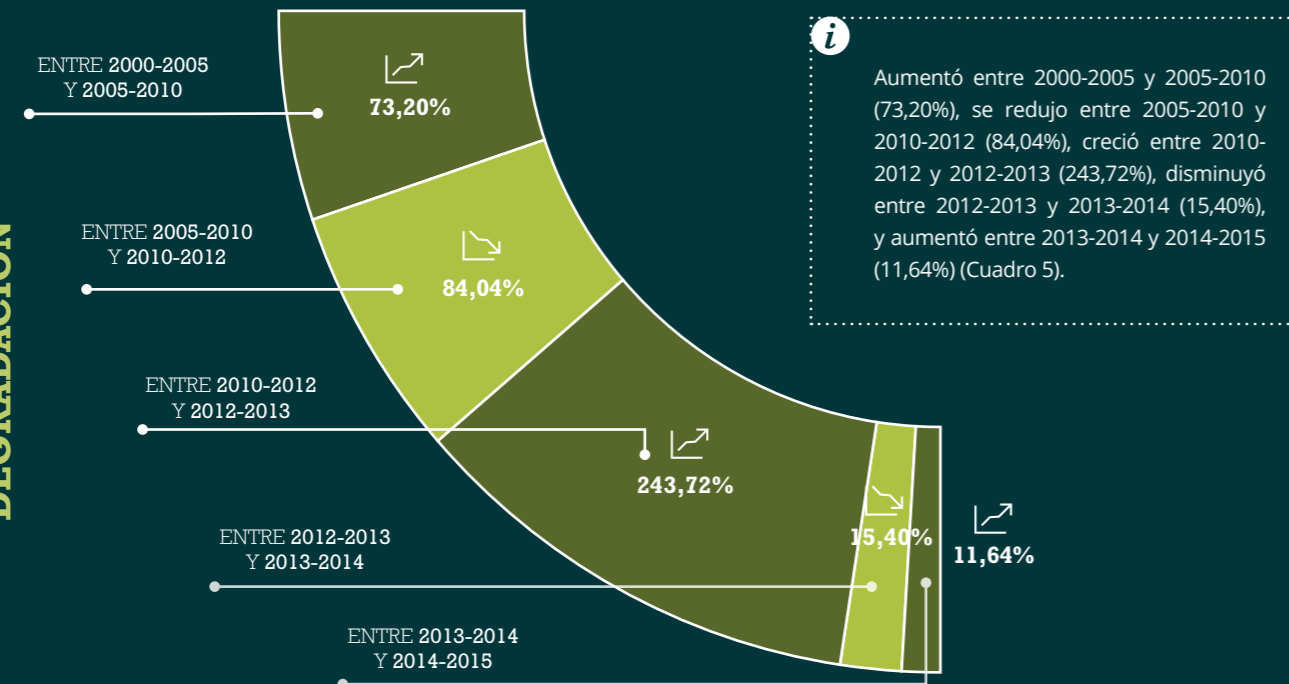
DEFORESTACIÓN



PÉRDIDA DE BIOMASA



DEGRADACIÓN



CONTRIBUCIÓN DE LAS REGIONES NATURALES A LA DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL DE COLOMBIA

El porcentaje de contribución de las regiones naturales de Colombia con respecto al total de la deforestación y degradación nacional, en términos de área y pérdida de biomasa, se puede encontrar en la Figura 11 (a y b, págs. 116-119).

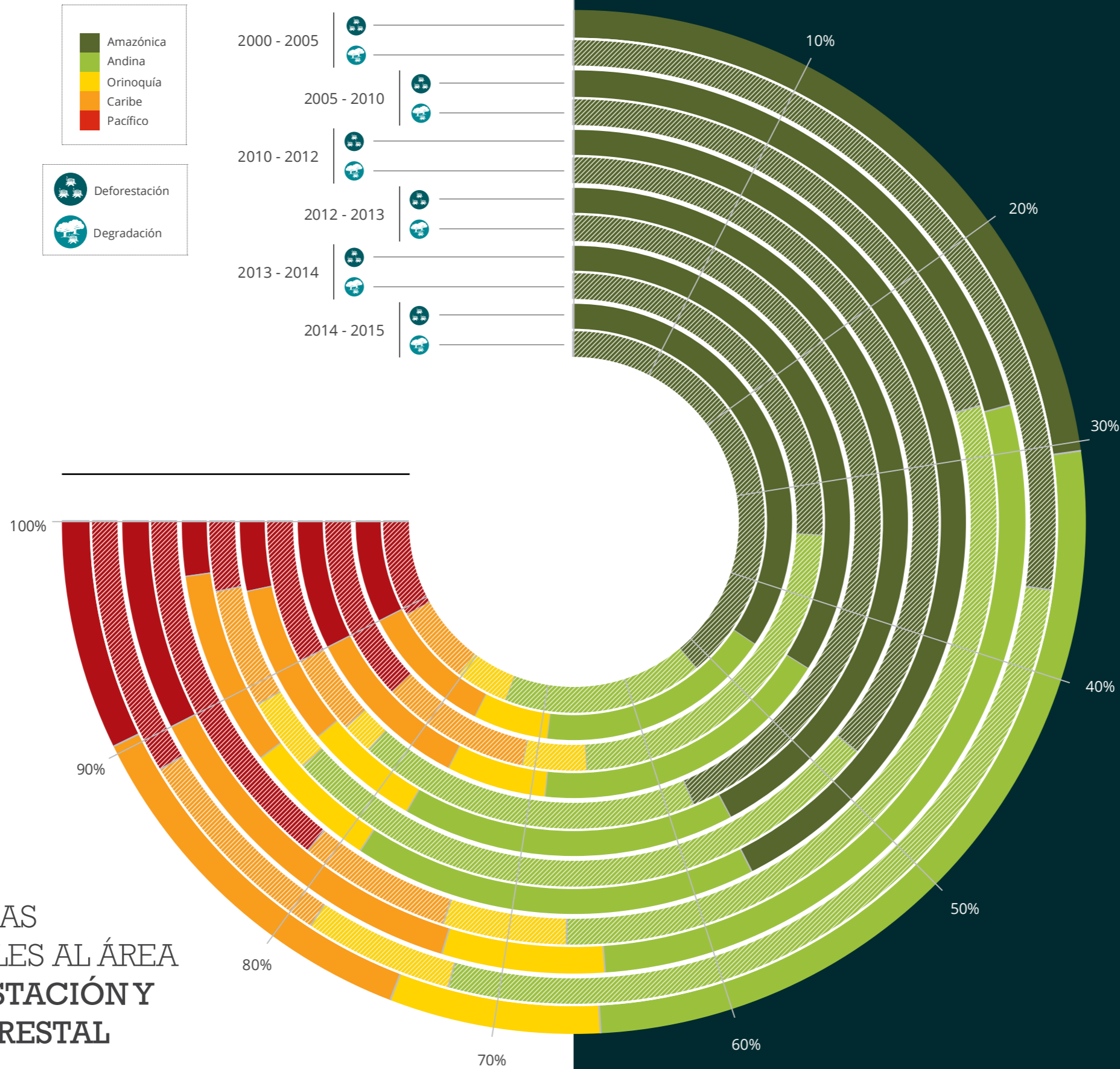
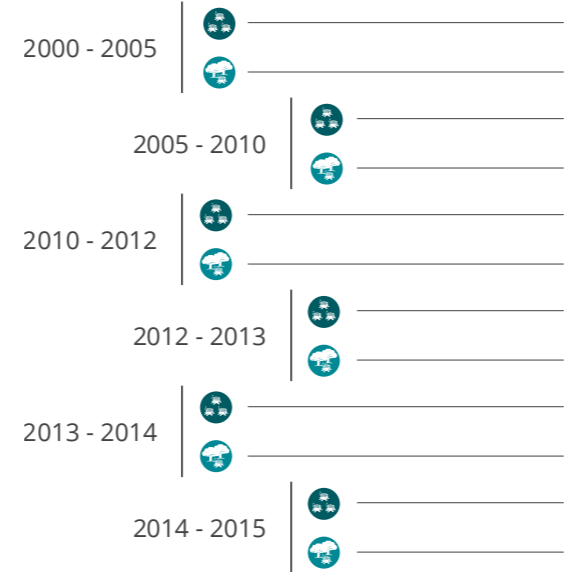
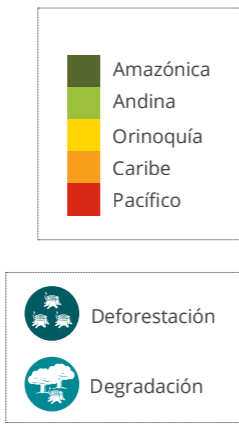
Durante los períodos 2000-2005 y 2005-2010, la región natural que más contribuyó a la deforestación y degradación forestal de Colombia en términos de área fue la región Andina, seguida de la región Amazónica. Entre los períodos 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, la que presentó mayores contribuciones, tanto al área de deforestación como a la de degradación, fue la región Amazónica, seguida de la región Andina. Durante estos mismos períodos, la región Caribe presentó su mayor contribución a la deforestación en términos de área después de la región Andina y la región Amazónica. La región Pacífico, por su parte, tuvo mayor contribución al área de degradación durante los períodos 2000-2005, 2005-2010, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, después de la región Andina y la región Amazónica. La región natural que menos contribuyó al área de deforestación y degradación de Colombia durante los períodos 2000-2005, 2005-2010, 2013-2014 y 2014-2015 fue la región Orinoquía. Sin embargo, esta misma región contribuyó principalmente a la deforestación y a la degradación en térmi-

nos de área durante el período 2010-2012, y al área de deforestación en el período 2012-2013. La región Pacífico presentó sus menores contribuciones en términos de área tanto a la deforestación como a la degradación en el período 2010-2012 y al área de deforestación durante el período 2012-2013 (Figura 11a).

En cuanto a las contribuciones a la pérdida de biomasa y de CO₂e, se puede resaltar que la región Amazónica fue la que presentó mayores contribuciones tanto a la deforestación como a la degradación durante los períodos 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, seguida de la región Andina en los mismos períodos. Durante el período 2000-2005, la región natural que más contribuyó a la pérdida de biomasa y de CO₂e en deforestación fue la región Amazónica, seguida de la región Andina, y en degradación fue la región Andina, seguida de la región Amazónica. La región Orinoquía fue la que tuvo menores contribuciones a la pérdida de biomasa y de CO₂e tanto en deforestación como en degradación durante los períodos 2000-2005, 2005-2010, 2013-2014 y 2014-2015. No obstante, contribuyó principalmente a la pérdida de biomasa y de CO₂e en deforestación durante los períodos 2010-2012 y 2012-2013, y en degradación durante el período 2010-2012. La región Caribe contribuyó principalmente a la deforestación en términos de pérdida de bioma-

sa y de CO₂e durante todos los períodos de estudio, después de la región Amazónica y la región Andina. En cuanto a la degradación, la región Caribe tuvo menores contribuciones en términos de pérdida de biomasa y de CO₂e durante todos los períodos de estudio, con excepción de lo ocurrido en el período 2010-2012, cuando contribuyó más que la región Orinoquía y la región Pacífico. La región Pacífico, por su parte, contribuyó principalmente a la degradación en términos de pérdida de biomasa y de CO₂e durante los períodos 2000-2005, 2005-2010, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, después de la región Amazónica y la región Andina. Esta misma región presentó sus menores contribuciones en términos de pérdida de biomasa y de CO₂e a la deforestación durante los períodos 2010-2012 y 2012-2013, y a la degradación en el período 2010-2012. A pesar de esto, tuvo mayores contribuciones a la deforestación en términos de pérdida de biomasa y de CO₂e durante los períodos 2000-2005, 2005-2010, 2013-2014 y 2014-2015, después de la región Amazónica, la región Andina y la región Caribe (Figura 11b).

Las transiciones entre las clases de fragmentación para Colombia y sus regiones naturales durante los períodos evaluados se pueden encontrar en el Anexo 4. Las transiciones entre las clases de fragmentación para la región Amazónica durante los períodos 2000-2002, 2002-2004, 2004-2008 y 2008-2010 se pueden encontrar en el Anexo 5.



2000-2005		30,61%	35,20%	8,68%	16,11%	9,39%
		35,65%	36,60%	6,65%	9,75%	11,35%
2005-2010		27,98%	37,21%	8,10%	16,83%	9,88%
		27,47%	39,86%	6,16%	7,83%	18,68%
2010-2012		56,83%	22,08%	7,70%	10,53%	2,85%
		47,96%	36,78%	4,43%	6,94%	3,88%
2012-2013		56,32%	21,77%	7,34%	10,36%	4,20%
		58,39%	23,85%	2,37%	5,42%	9,96%
2013-2014		45,32%	23,89%	7,57%	13,39%	9,82%
		34,61%	31,03%	5,78%	12,95%	15,62%
2014-2015		45,95%	23,59%	7,36%	13,28%	9,82%
		52,14%	22,59%	5,87%	8,89%	10,50%

A.

CONTIBUCIÓN DE LAS REGIONES NATURALES AL ÁREA TOTAL DE DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL DE COLOMBIA

B.

CONTRIBUCIÓN DE LAS REGIONES NATURALES A LA PÉRDIDA DE BIOMASA TOTAL DE DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN FORESTAL DE COLOMBIA

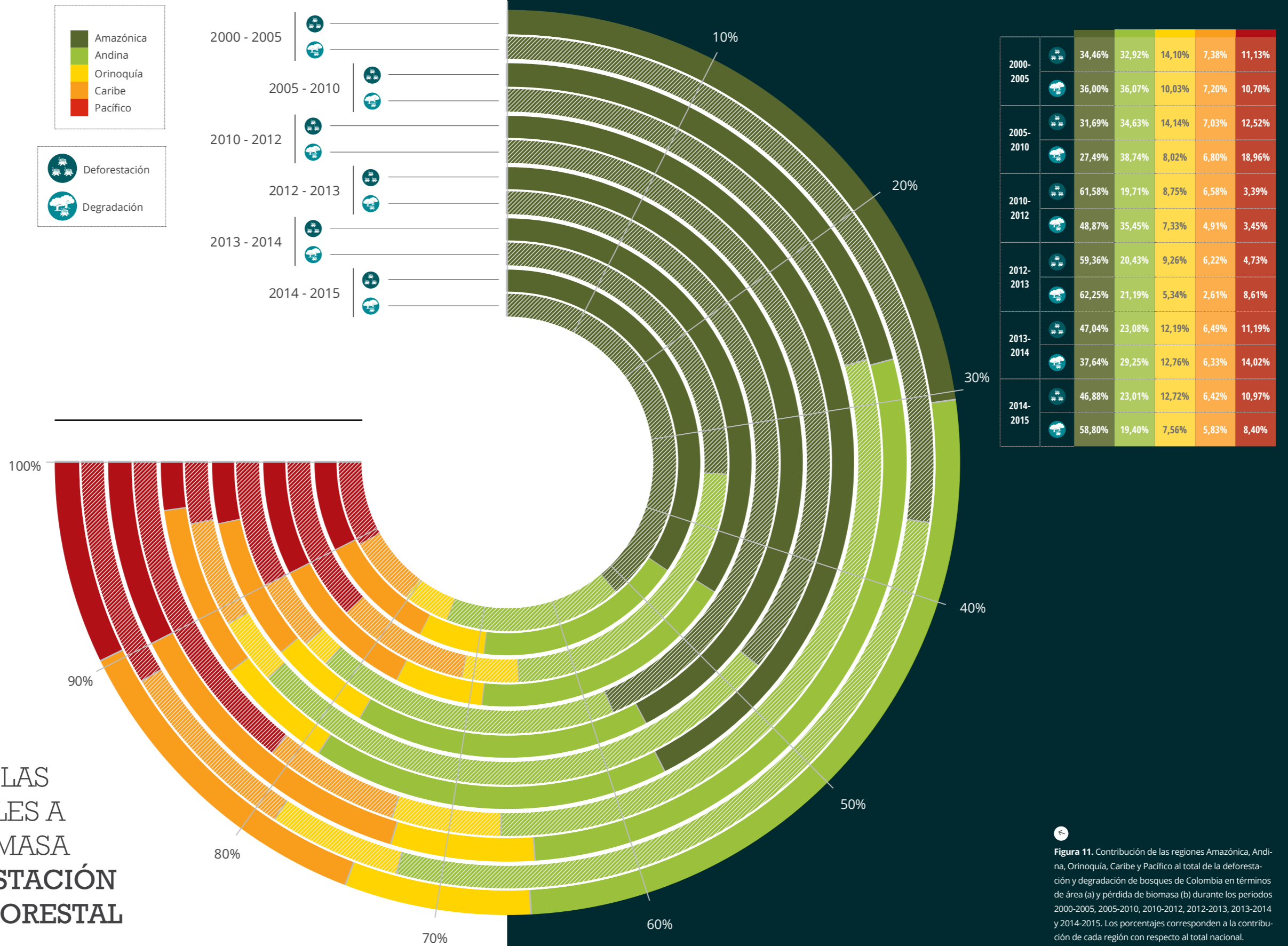


Figura 11. Contribución de las regiones Amazónica, Andina, Orinoquía, Caribe y Pacífico al total de la deforestación y degradación de bosques de Colombia en términos de área (a) y pérdida de biomasa (b) durante los periodos 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015. Los porcentajes corresponden a la contribución de cada región con respecto al total nacional.

5

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

DISCUSIÓN

5.1

DEGRADACIÓN DE BOSQUES DE COLOMBIA

Con la metodología de estimación de degradación de bosques a través de un análisis de fragmentación, se podría afirmar de manera general que, desde el año 2000, la degradación de Colombia ha afectado de 180 a 334 mil hectáreas de bosques al año y ha representado del 35 al 57% de las emisiones forestales totales de CO₂e (13,82 millones de MgC por año en promedio entre 2000 y 2015) (Cuadro 5).

A partir de esta metodología, se podría indicar también que las regiones han contribuido a la degradación total de Colombia así:

- La región Amazónica con 62 a 195 mil hectáreas al año y con 31 a 61% de las emisiones totales de CO₂e (5,86 millones de MgC por año en promedio entre 2000 y 2015).

- La región Andina con 56 a 129 mil hectáreas al año y con 38 a 57% de las emisiones totales de CO₂e (4,11 millones de MgC por año en promedio entre 2000 y 2015).

- La región Orinoquía con 7 a 20 mil hectáreas al año y con 35 a 53% de las emisiones totales de CO₂e (772,42 mil MgC por año en promedio entre 2000 y 2015).

- La región Caribe con 17 a 30 mil hectáreas al año y con 27 a 43% de las emisiones totales de CO₂e (1,13 millones de MgC por año en promedio entre 2000 y 2015).

- La región Pacífico con 9 a 60 mil hectáreas al año y con 35 a 70% de las emisiones totales de CO₂e (1,48 millones de MgC por año en promedio entre 2000 y 2015) (ver Cuadro 5, Cuadro 6).

Según Pearson y colaboradores (2017), las causas de degradación forestal en Colombia presentan las siguientes proporciones:

Tala selectiva

(con 15 a 50 millones de MgCO₂e al año)



85% de la deforestación

Recolección de leña

(con 0 a 0,05 millones de MgCO₂e al año)



Entre 0 y 10% de la deforestación

Incendios forestales

(con 0 a 0,05 millones de MgCO₂e al año)



Entre 0 y 10% de la deforestación



©SMBByC-PNN. Sobrevuelo. 2016
Bosque húmedo tropical. La Macarena.

Aunque no fue posible diferenciar las causas de degradación de bosques con la metodología aplicada en esta investigación, las estimaciones de emisiones de degradación forestal de Colombia presentadas por Pearson y colaboradores (2017) son muy similares a las obtenidas en el presente estudio, ya que, en promedio, las emisiones de degradación forestal de Colombia fueron de 50,67 millones de MgCO₂e al año entre 2000 y 2015 (Cuadro 5).

Las regiones naturales contribuyeron en promedio a las emisiones anuales de degradación forestal de Colombia así:

- Amazónica: con 45,67% (23,14 millones de MgCO₂e al año).
- Andina: con 29,80% (15,09 millones de MgCO₂e al año).

- Orinoquía: con 5,59% (2,83 millones de MgCO₂e al año).
- Caribe: con 8,18% (4,14 millones de MgCO₂e al año).
- Pacífico: con 10,76% (5,45 millones de MgCO₂e al año) (ver Cuadro 5, Figura 11b).

Este estudio demuestra que las emisiones de degradación forestal de Colombia, tanto a nivel nacional como subnacional, y casi sin excepción, superarían el umbral mínimo requerido para contabilizar emisiones de degradación forestal ("más del 10% del total de emisiones vinculadas con los bosques") (Cuadro 5, Cuadro 6, Figura 11b) bajo las exigencias del Banco Mundial para la participación en el programa REDD+ del Fondo de Carbono (World Bank, 2016).



5.2

PERSPECTIVAS NACIONALES Y PLAN DE MEJORA

Por medio de esta metodología, la cual da soporte al enfoque de matriz simple para el monitoreo de bosques que recomienda Bucki y colaboradores (2012) (estimación a escala gruesa de las transiciones entre coberturas de bosque intacto a no intacto), se podría monitorear la degradación forestal de Colombia de una manera indirecta. Lo anterior podría ser implementado por el SMByC, especialmente cuando no se cuenten con datos de campo y se deseen obtener estimaciones a nivel nacional y/o subnacional.

Esta es una metodología transparente, replicable, accesible, viable y costo-efectiva que podría ser tenida en cuenta para que el país pueda identificar y reportar en el futuro, si así lo determina, las emisiones de degradación de bosques de Colombia, con el objetivo de contribuir con las medidas de mi-

tigación en el sector forestal, conforme a las decisiones de la CMNUCC (UNFCCC, 2011).

Es de resaltar que esta metodología solo proporciona información sobre la potencialidad y/o probabilidad que tienen los bordes de los bosques de presentar una degradación (Shapiro *et al.*, 2016), ya que asume que son estos los que son susceptibles a presentar una mayor accesibilidad, menor biomasa, mayor mortalidad de árboles (por tala selectiva insostenible principalmente), menor biodiversidad, mayor presencia de especies invasoras y de incendios forestales (Nepstad *et al.*, 1999; Sala *et al.*, 2000; Laurence, 2004; Vieira *et al.*, 2004; Cayuela *et al.*, 2009; Chaplin-Kramer *et al.*, 2015; Haddad *et al.*, 2015), todas características de un proceso de degradación forestal.

La detección de nuevos bordes de bosque junto a áreas deforestadas, lo

cual se realizó mediante la aplicación de esta metodología, podría ser esencial para diferenciar la degradación que ocurre en los bordes de los bosques de aquellos bosques que se encuentran en estabilidad o en proceso de regeneración (Shapiro *et al.*, 2016). Además, con esta metodología se podría estimar de cierta forma la deforestación que ocurriría a futuro, gracias a que, en promedio, cerca del 12% de la degradación tendió eventualmente a terminar en deforestación (ver Anexo 4, Anexo 5).

La selección de la distancia al borde del bosque en términos de biomasa es un factor importante que se debe determinar para esta metodología, ya que afecta el área que se define como bosque degradado (Shapiro *et al.*, 2016). Con los resultados obtenidos, se demostró que, para los bosques de Colombia, y a un

nivel nacional, el efecto de borde en términos de biomasa podría estar sobre los 100 m (Cuadro 1, Cuadro 2, Figura 8). Sin embargo, definir la distancia al borde del bosque podría variar de acuerdo a la escala y al tipo de bosque que se esté analizando. Algunos estudios de fragmentación (*e.g.*, Laurance *et al.*, 2002; Millington *et al.*, 2003; Porej *et al.*, 2004; Ramírez-Delgado *et al.*, 2014) e incluso de degradación de bosques por infraestructura (*e.g.*, Salas *et al.*, 2012), reportan que el efecto de borde ocurre sobre los primeros 100 m. Chaplin-Kramer y colaboradores (2015) afirman que la biomasa dentro de los primeros 500 m del borde del bosque es en promedio un 25% menor que la que se presenta en el interior de los bosques, y que reducciones en la biomasa del 10% se extienden a 1,50 km del borde del bos-

que. Por su parte, Shapiro y colaboradores (2016) reportan que el efecto de borde, en términos de biomasa aérea, está sobre los 300 m para los bosques de la República Democrática del Congo. Estas diferencias podrían deberse a la escala de los insumos utilizados para definir dicha distancia, por lo que es recomendable determinar-la de acuerdo a los datos que se tengan disponibles y, si es posible, por medio de datos de campo.

A pesar de que la distancia al borde del bosque es la fuente de incertidumbre más baja si se compara con la de otros factores en términos de estimación de emisiones (Pelletier *et al.*, 2013), para la metodología de estimación de degradación de bosques a través de un análisis de fragmentación es necesario hacer una validación para definirla. Esto se podría realizar mediante

un muestreo en campo en forma de gradiente, utilizando las clases de fragmentación como estratos de muestreo, o a través de un análisis de series de tiempo con imágenes de sensores remotos, tales como LANDSAT, en el cual se determine la presencia de algún tipo de perturbación en las áreas que fueron identificadas como degradación. Lo anterior ayudaría a cuantificar la incertidumbre y podría generar robustez y/o fortalecer la credibilidad de los resultados obtenidos.

Es de resaltar que esta metodología depende de la calidad de los datos de biomasa y de la consistencia entre las capas temáticas de cobertura de bosque natural, tal y como lo reporta Shapiro y colaboradores (2016) en su estudio sobre degradación, lo cual hace que sea necesario realizar un análisis de la propagación del error.

6

ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

CONCLUSIONES y Referencias


 Cortesía del Servicio Geológico
de Estados Unidos, 2018

Imagen Landsat-8. 01/02/2016.
San José del Guaviare.

6.1

CONCLUSIONES

Las estimaciones presentadas en este estudio reflejan que las emisiones totales de degradación forestal de Colombia fueron de 50,67 millones de MgCO₂e al año entre 2000 y 2015. Las contribuciones en promedio a estas emisiones por regiones fueron:

- Amazónica: con 45,67% (23,14 millones de MgCO₂e al año).
- Andina: con 29,80% (15,09 millones de MgCO₂e al año).
- Orinoquía: con 5,59% (2,83 millones de MgCO₂e al año).
- Caribe: con 8,18% (4,14 millones de MgCO₂e al año).
- Pacífico: con 10,76% (5,45 millones de MgCO₂e al año).

Este estudio demuestra que las emisiones de degradación forestal de Colombia, tanto a nivel nacional como subnacional, y casi sin excepción, superarían el umbral mínimo requerido para contabilizar emisiones de degradación forestal ("más del 10% del total de emisiones vinculadas con los bosques") bajo las exigencias del Banco

Mundial para la participación en el programa REDD+ del Fondo de Carbono.

La metodología de estimación de degradación de bosques a través de un análisis de fragmentación permitió detectar y/o monitorear la degradación de bosques de Colombia. Esta metodología podría ser útil para realizar reportes tanto de deforestación como de degradación, incluyendo estimaciones de emisiones dadas por estos dos procesos. Lo anterior podría ser implementado por el SMBYC, especialmente cuando no se cuente con datos de campo y se desee obtener estimaciones a nivel nacional y/o subnacional.

Aunque esta es una metodología transparente, replicable, accesible, viable y costo-efectiva, es necesario considerar que su implementación podría llegar a tener niveles de incertidumbre asociados, principalmente en las estimaciones de degradación forestal. Dicha incertidumbre podría llegar a cuantificarse a través de una validación de la distancia al borde del bosque con datos de campo, ya que esta afecta el área que se define como bosque degradado, y/o de un análisis de series de tiempo con imágenes de sensores remotos, tales como LANDSAT, en el cual se detecte la presencia de algún tipo de per-

turbación forestal en las áreas que fueron identificadas como degradación.

Para la estimación y/o monitoreo de la degradación de bosques, al igual que ocurre con la deforestación, es clave tener definiciones claras, no solo de lo que indican estos dos procesos, sino también de lo que se define como bosque. Teniendo en cuenta las múltiples escalas temporales de los cambios que ocurren en estos ecosistemas, es necesario contar con información histórica que permita identificarlos, a partir de la cual se pueda determinar si hay o no evidencia de degradación.

Cabe resaltar que para poder estimar y/o monitorear la degradación forestal de Colombia, emplear una sola metodología no es viable por las limitaciones que cada una de estas tiene, por lo que sería ideal y necesario implementar una combinación de estas mediante sensores remotos y datos de campo. Teniendo en cuenta lo anterior, el plan de mejora buscaría realizar una validación de la metodología, especialmente de la distancia al borde del bosque con datos de campo y de las áreas asignadas como degradación mediante un análisis de series de tiempo con imágenes de sensores remotos, así como también un análisis de la propagación del error asociado a los insumos utilizados.



6.2

REFERENCIAS

A

Asner GP, Keller M, Pereira R Jr, Zweede JC. 2002. Remote sensing of selective logging in Amazonia assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. *Remote Sensing of Environment* 80(3):483-496.

Asner GP, Knapp DE, Broadbent EN, Oliveira PJC, Keller M, Silva JN. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310(5747):480-482.

Asner GP, Hughes RF, Vitousek PM, Knapp DE, Kennedy-Bowdoin T, Boardman J, Martin RE, Eastwood M, Green RO. 2008. Invasive plants transform the three-dimensional structure of rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(11):4519-4523.

Asner GP, Knapp DE, Balaji A, Páez-Avosta G. 2009. Automated Mapping of Tropical Deforestation and Forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing* 3:0033543.

Asner GP, Powell GVN, Mascaro J, Knapp DE, Clark JK, Jacobson J, Kennedy-Bowdoin Ty, Balaji A, Páez-Acosta G, Victoria E, Secada L, Valqui M, Hughes RF. 2010. High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 107(38):16738-16742. Disponible en línea: <http://www.pnas.org/content/107/38/16738.full>.

Asner GP, Hughes RF, Mascaro J, Uowolo AL, Knapp DE, Jacobson J, Kennedy-Bowdoin T, Clark JK. 2011. High-resolution carbon map-

ping on the million-hectare Island of Hawaii. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:434-439. doi:10.1890/100179.

Asner GP, Clark JK, Mascaro J, Vaudry R, Chadwick KD, Vieilledent G, Rasamoelina M, Balaji A, Kennedy-Bowdoin T, Maatoug L, Colgan MS, Knapp. 2012. Human and environmental controls over aboveground carbon storage in Madagascar. *Carbon Balance and Management* 7:2. doi:10.1186/1750-0680-7-2. Disponible en línea: <http://www.cbmjournals.com/content/7/1/2>.

B

Bird DN, Pena N, Schwaiger H, Zanchi G. 2010. Review of existing methods for carbon accounting. Occasional paper 54. CIFOR (Center for International Forestry Research). Bogor, Indonesia.

Bontemps S, Langner A, Defourny P. 2012. Monitoring forest changes in Borneo on a yearly basis by an object-based change detection algorithm using spot-vegetation time series. *International Journal of Remote Sensing* 33(15):4673-4699.

Bruijnzeel LA, Veneklaas EJ. 1998. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79(1): 3-9. Disponible en línea: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658\(1998\)079%5B003:CCATMF%5D2.0.CO;2/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658(1998)079%5B003:CCATMF%5D2.0.CO;2/abstract).

Bucki M, Cuyppers D, Mayaux P, Achard F, Estreguil C, Grassi G. 2012. Assessing

REDD+ performance of countries with low monitoring capacities: the matrix approach. *Environmental Research Letters* 7:014031. doi:10.1088/1748-9326/7/1/014031. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/1/014031/meta>.

Bustamante MMC, Roitman I, Aide TM, Alencar A, Andreson L, Aragão L, Asner GP, Barlow J, Berenguer E, Chambers J, Costa MH, Fanin T, Ferreira LG, Ferreira JN, Keller M, Magnusson WE, Morales L, Morton D, Ometto JPHB, Palace M, Peres C, Silvério D, Trumbore S, Vieira ICG. 2015. Towards an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology* (2015). doi:10.1111/gcb.13087.

C

Cabrera ED, Vargas D, Galindo G, García MC, Ordoñez MF. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.

Cayuela L, Murcia C, Hawk AA, Fernández-Vega J, Oviedo-Brenes F. 2009. Tree responses to edge effects and canopy openness in a tropical montane forest fragment in southern Costa Rica. *Tropical Conservation Science* 2(4):425-36. Disponible en línea: http://tropicalconservationscience.mongabay.com/content/v2/09-12-07_425-436_cayuela_et_al.html.

Chazdon RL. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320:1458-1460.

D

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2010. Colombia estadística 2000-2009. Tomo 3. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

De Sy V, Herold M, Achard F, Asner GP, Held A, Kellendorfer J, Verbesselt J. 2012. Synergies of multiple remote sensing data sources for REDD+ monitoring. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(6):696-706. doi:10.1016/j.cosust.2012.09.013.

DeFries R, Achard F, Brown C, Herold M, Murdijarso D, Schlamadinger B, Souza C. 2007. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy* 10:385-394. doi:10.1016/j.envsci.2007.01.010. Deutscher J, Perko R, Gutjahr K, Hirschmugl M, Schardt M. 2013. Mapping tropical rainforest canopy disturbances in 3D by COSMO-SkyMed spotlight InSAR-Stereo data to detect areas of forest degradation. *Remote Sensing* 5(2):648-663. Disponible en línea: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/648>.

DeVries B, Verbesselt J, Kooistra L, Herold M. 2015. Robust monitoring of small-scale forest disturbance in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment* 161:107-121. doi:10.1016/j.rse.2015.02.012.

Di Vittorio AV, Negrón-Juárez RI, Higuchi N, Chambers JQ. 2014. Tropical forest carbon balance: effects of field- and satellite-based mortality regimes on the dynamics and the spatial structure of Central Amazon forest biomass. *Environmental Research Letters* 9:034010. doi:10.1088/1748-9326/9/3/034010. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/3/034010/meta>.

E

Eckert S, Ratsimba HR, Rakotondrasoa LO, Rajoelison LG, Ehrensperger A. 2011. Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirifo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management* 262:1996-2007. doi:10.1016/j.foreco.2011.08.041.

ESRI (Environmental Systems Resource Institute). 2012. ArcMap version 10.1. Redlands, California.

F

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. Proceedings: second expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders: comparative framework and options for harmonization of definitions. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome,

Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/005/y4171e/y4171e00.htm#TopOfPage>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest. Rome, Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.HTM>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. Assessing forest degradation. Towards the development of globally applicable guidelines. Forest Resources Assessment Working Paper 177. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/015/i2479e/i2479e00.pdf>. Galindo G., Cabrera E., Vargas D. M., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011a. Metodologías de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Degradación de Bosques, Versión 1.0. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia.

G

Galindo G, Cabrera E, Vargas DM, Yepes AP, Phillips JF, Navarrete DA, Duque AJ, García MC, Ordoñez MF. 2011b. Recomendaciones para el uso de metodologías de procesamiento digital de imágenes en la Cuantificación de la Degradación de bosques. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.

Galindo GA, Cabrera E, Vargas DM, Pabón HR, Cabrera KR, Yepes AP, Phillips JF, Navarrete DA, Duque AJ, García MC, Ordoñez MF. 2011c. Estimación de la biomasa aérea usando datos de campo e información de sensores remotos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.

Galindo G, Espejo OJ, Rubiano JC, Vergara LK, Cabrera E. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia V.2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia.

Gibbs HK, Brown S, Niles JO, Foley JA. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:045023. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045023. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/4/045023/meta>.

GOFC-GOLD (Global Observation of Forest and Land Dynamics). 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD Report version COP19-2. Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands. Disponible en línea: <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>.

Grecchi RC, Beuchle R, Shimabukuro YE, Achard F. 2015. A multidisciplinary approach for assessing forest degradation in the Brazilian Amazon. *International Geoscience & Remote Sensing Symposium - Symposium Proceedings (IGRASS)* 1941-1944.

Greenpeace, University of Maryland, World Resources Institute and Transparent World. 2015. "Intact Forest Landscapes 2000/2013". Disponible en línea: <http://www.intactforests.org/pub.map.html>.

H

Haddad NM, Brudvig LA, Clobert J, Davies KF, Gonzalez A, Holt RD, Lovejoy TE, Sexton JO, Austin MP, Collins CD, Cook WD, Damschen EI, Ewers RM, Foster BL, Jenkins CN, King AJ, Laurance WF, Levey DJ, Margules CR, Melbourne BA, Nicholls AO, Orrock JL, Song D-X, Townshend JR. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* 1(2):1-9. doi:10.1126/sciadv.1500052. Disponible en línea: <http://advances.sciencemag.org/content/1/2/e1500052.full>.

Healey SP, Cohen WB, Zhiqiang Y, Krankina ON. 2005. Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment* 97(3):301-310. doi:10.1016/j.rse.2005.05.009.

Herold M, Román-Cuesta RM, Mollicone D, Hirata Y, Van Laake P, Asner G, Souza CM, Skutsch M, Valerio A, MacDicken K. 2011a. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management* 6:13. doi:10.1186/1750-0680-6-13. Disponible en línea: <http://www.cbmjournals.com/content/6/1/13>.

Herold M, Román-Cuesta RM, Heymell V, Hirata Y, Van Laake P, Asner GP, Souza CM,

Avitabile V, MacDicken K. 2011b. A review of methods to measure and monitor historical carbon emissions from forest degradation. *Unasylva* 238(62):16-24. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560e/i2560e04.pdf>.

Herold M, Skutsch M. 2011. Monitoring, reporting and verification for national REDD+ programmes: two proposals. *Environmental Research Letters* 6(1):014002. Disponible en línea: http://iopscience.iop.org/1748-9326/6/1/014002/pdf/1748-9326_6_1_014002.pdf.

Hirschmugl M, Steinegger M, Gallaun H, Schardt M. 2014. Mapping forest degradation due to selective logging by means of time series analysis: case studies in Central Africa. *Remote Sensing* 6(1):756-775. doi:10.3390/rs6010756. Disponible en línea: <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/1/756>.

Holdridge LR, Grenke W, Hatheway WH, Liang T, Tosi JA. 1971. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*. Pergamon Press, Oxford.

Hosonuma N, Herold M, De Sy V, De Fries RS, Brockhaus M, Verchot L, Angelsen A, Romijn E. 2012. An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters* 7(4):1-12. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/044009/>.

Houghton RA. 2012. Carbon emissions and the drivers of deforestation and forest degradation in the tropics. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(6):597-603. doi:10.1016/j.cosust.2012.06.006.

I

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2005. Distribución espacio-temporal de las variables del clima. In: IDEAM, MAVDT (eds.), *Atlas climatológico de Colombia*, Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2009. *Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto invernadero 2000-2004*. Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2016a. *Lanzamiento cifras de deforestación anual 2015*. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC). Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2016b. *Capas de bosque/no bosque de la región Amazónica para los años 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 y 2010, resolución espacial de 30 m*. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC). Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2017. *Capas de bosque/no bosque de Colombia para los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015, resolución espacial de 30 m*. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC). Bogotá D.C., Colombia.

INPE (National Institute for Space Research). 2008. *Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por Satélites*. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008. São José dos Campos, Brazil.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4: agriculture, forestry, and other land use. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. (eds). IGES, Japan. Disponible en línea: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

ITTO (International Tropical Timber Organization). 2002. *ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forest*. ITTO Policy Development Series No 13. ITTO, Yokohama, Japan. Disponible en línea: http://www.itto.int/policypapers_guidelines/.

J

Joshi N, Mitchard ETA, Woo N, Torres J, Moll-Rocek J, Ehammer A, Collins M, Jepsen MR, Frensholt R. 2015. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. *Environmental Research Letters* 10:034014. doi:10.1088/1748-9326/10/3/034014. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/3/034014/meta>.

Jubanski J, Ballhorn U, Kronseder K, Franke J, Siegert F. 2013. Detection of large above-ground biomass variability in lowland forest ecosystems by airborne LiDAR. *Biogeosciences* 10:3917-3930. doi:10.5194/bg-10-3917-2013. Disponible en línea: <http://www.biogeosciences.net/10/3917/2013/bg-10-3917-2013.pdf>.

K

Kissinger G, Herold M, De Sy V. 2012. *Drivers of deforestation and forest degradation: a synthesis report for REDD+ policymakers*.

Lexeme Consulting, Vancouver, Canada. Disponible en línea: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/66151/Drivers_of_deforestation_and_forest_degradation.pdf.

Kronseder K, Ballhorn U, Böhm V, Siegert F. 2012. Above ground biomass estimation across forest types at different degradation levels in central Kalimantan using LiDAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18:37-48. doi:10.1016/j.jag.2012.01.010.

L

Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos HL, Bruna EM, Didham RK, Stouffer PC, Gascon C, Bierregaard RO, Laurance SG, Sampaio E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology* 16:605-618.

Laurence WF. 2004. Forest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 359,345-352. doi:10.1098/rstb.2003.1430.

Lentile LB, Holden ZA, Smith AMS, Falkowski MJ, Hudak AT, Morgan P, Lewis SA, Gessler PE, Benson NC. 2006. Remote sensing techniques to assess fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 15:319-345.

M

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2014. *Forest Reference Emission Level for*

deforestation in the Colombian Amazon Biome for results-based payments for REDD+ under the UNFCCC. Bogotá D.C., Colombia.

Malagon-Castro D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 27(104):319-341. ISSN 0370-3908. Disponible en línea: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_27/104/319-341.pdf.

Margono BA, Potapov PV, Turubanova S, Stolle F, Hansen MC. 2014. Primary forest cover loss in Indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change* 4:730-735. doi:10.1038/nclimate2277.

Millington AC, Velez-Liendo XM, Bradley AV. 2003. Scale dependence in multitemporal mapping of forest fragmentation in Bolivia: implications for explaining temporal trends in landscape ecology and applications to biodiversity conservation. *ISPRS J Photogrammetry Remote Sens.* 57:289-299.

Matricardi EAT, Skole DL, Pedlowski MA, Chomentowski W, Fernandes LC. 2010. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 114(5):1117-1129.

Mitchard ETA, Saatchi SS, White LJ, Abernethy KA, Jeffery KJ, Lewis SL, Collins M, Lefsky MA, Leal ME, Woodhouse IH, Meir P. 2012. Mapping tropical forest biomass with radar and spaceborne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: overcoming problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeosciences* 9:179-191. doi:10.5194/bg-9-179-2012.

Mery G, Katila P, Galloway G, Alfaro RI, Kanninen M, Lobovikov M, Varjo J (eds.). 2010. *Forests and society: responding to global drivers of change*. IUFRO World Series Volume 25. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, Austria. Disponible en línea: <http://www.iufro.org/science/special/wfse/forests-society-global-drivers/>.

Miettinen J, Stibig H-J, Achard F. 2014. Remote sensing of forest degradation in Southeast Asia—Aiming for a regional view through 5-30 m satellite data. *Global Ecology and Conservation* 2:24-36. doi:10.1016/j.gecco.2014.07.007. Disponible en línea: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989414000134>.

Mollicone D, Achard F, Federici S, Eva HD, Grassi G, Belward A, Raes F, Seufert G, Stibig H-J, Matteucci G, Schulze ED. 2007. An incentive mechanism for reducing emissions from conversion of intact and non-intact forests. *Climatic Change* 83(4):477-493. doi: 10.1007/s10584-006-9231-2.

Morales-Barquero L, Skutsch M, Jardel-Peláez EJ, Ghilardi A, Kleinn C, Healey JR. 2014. Operationalizing the definition of Forest Degradation for REDD+, with Application to Mexico. *Forests* 5(7):1653-1681. doi:10.2290/f5071653. Disponible en línea: <http://www.mdpi.com/1999-4907/5/7/1653>.

Murdiyarto D, Skutsch M, Guariguata M, Kanninen M, Luttrell C, Verweij P, Stella O. 2008. Measuring and monitoring forest degradation for REDD: implications of country circumstances. *CIFOR Infobriefs* 16. Center for International Forest Research, Bogor, Indonesia. Disponible en Línea: <http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2596.html>.

N

Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X. 2007. *Forestry*. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en línea: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch9.html.

Nasi R, Van Vliet N. 2009. Case studies on measuring and assessing forest degradation. *Defaunation and Forest Degradation in Central Africa Logging Concessions: How to Measure the Impacts of bushmeat hunting on the ecosystems*. Forest Resource Assessment Working Paper 159. Rome, Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/012/k7178e/k7178e00.pdf>.

Nepstad, DC, Verssimo A, Alencar A, Nobre C, Lima E, Lefebvre P, Schlesinger P, Potter C, Moutinho P, Mendoza E, Cochrane M, Brooks V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398:505-508.

O

Olofsson P, Foody GM, Herold M, Stehman SV, Woodcock CE, Wulder MA. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148:42-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.

P

Parent J, Civco D, Hurd J. 2007. Simulating future forest fragmentation in a Connecticut region undergoing suburbanization. *ASPRS 2007 Annual Convention*. Tampa, Florida. Disponible en línea: http://clear.uconn.edu/publications/research/tech_papers/Parent_ASPRS2007.pdf.

Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds.). 2007. *Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Disponible en línea: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html.

Pearson TRH, Brown S, Casarim FM. 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters* 9:034017. doi:10.1088/1748-9326/9/3/034017. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/3/034017/meta>.

Pearson TRH, Brown S, Murray L, Sidman G. 2017. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12:3. doi 10.1186/s13021-017-0072-2. Disponible en línea: <https://cbmjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13021-017-0072-2>.

Pelletier J, Martin D, Potvin C. 2013. REDD+ emissions estimation and reporting: dealing with uncertainty. *Environmental Research Letters* 8: 034009. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034009/meta;j> sessionid=1FC07E9454B4FCC45843EB72F90BB1B0.c2.iopscience.cld.iop.org.

Pékar S, Brabec M. 2016. *Modern analysis of biological data. Generalized linear models* in R. Munipress. ISBN 978-80-210-8019-5. Brno, Czech Republic.

Phillips JF, Duque AJ, Scott C, Peña MA, Franco CA, Galindo G, Cabrera E, Álvarez E, Cárdenas D. 2014. *Aportes técnicos del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono a la propuesta de preparación de Colombia para REDD+: datos de actividad y factores de emisión*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia. Disponible en línea: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022974/AportesMonitoreoBosquesCarbono2.pdf>.

Phillips J, Duque A, Scott C, Wayson C, Galindo G, Cabrera E, Chave J, Peña M, Álvarez E, Cárdenas D, Duivenvoorden J, Hildebrand P, Stevenson P, Ramírez S, Yepes A. 2016. Live aboveground carbon stocks in natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 374:119-128. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.009>.

Pelletier J, Martin D, Potvin C. 2013. REDD+ emissions estimation and reporting: dealing with uncertainty. *Environmental Research Letters* 8: 034009. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034009/meta;j> sessionid=1FC07E9454B4FCC45843EB72F90BB1B0.c2.iopscience.cld.iop.org.

Porej D, Micacchion M, Hetherington TE. 2004. Core terrestrial habitat for conservation of local populations of salamanders and wood frogs in agricultural landscapes. *Biological Conservation* 120:399-409.

Potapov P, Yaroshenko A, Turubanova S, Dubinin M, Laestadius L, Thies C, Aksenov D, Egorov

A, Yesipova Y, Glushkov I, Karpachevskiy M, Kostikova A, Manisha A, Tsybikova E, Zhuravleva I. 2008. Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society* 13(2): 51. Disponible en línea: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art51/>.

Potapov P, Laestadius L, Yaroshenko A, Turubanova S. 2009. Case studies on measuring and assessing forest degradation. *Global mapping and monitoring the extent of forest alteration: the intact forest landscapes method*. Forest Resources Assessment Working Paper 166. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/012/k7611e/k7611e00.pdf>.

R

Raich JW, Russell AE, Kitayama K, Parton WJ, Vitousek PM. 2006. Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forest. *Ecology* 87(1):76-87. Disponible en línea: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/05-0023/abstract>.

Ramírez-Delgado JP, Christman Z, Schmoor B. 2014. Deforestation and fragmentation of seasonal tropical forest in the southern Yucatán, Mexico (1990-2006). *Geocarto International* 28(8):822-841. Disponible en línea: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10106049.2013.868039>.

R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en línea: <http://www.R-project.org/>.

Ritters K, Wickham J, O'Neill R, Jones B, Smith E. 2000. Global-scale patterns of

forest fragmentation. *Conservation Ecology* 4(2):1-22. Disponible en línea: <http://www.consecol.org/vol4/iss2/art3/>.

Ritters K, Wickham J, Costanza JK, Vogt P. 2015. A global evaluation of forest interior area dynamics using tree cover data from 2000 to 2012. *Landscape Ecology* doi:10.1007/s10980-015-0270-9.

S

Sala OE, Chapin III FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770-1774. doi:10.1126/science.287.5459.1770.

Salas W, Hagen S, Braswell B, Palace M, Brown S, Casarim F. 2012. A Pilot Study to Assess Forest Degradation Surrounding New Infrastructure Submitted by Winrock International and Applied GeoSolutions to the Guyana Forestry Commission. *Sound Science for Sound Solutions*.

Sasaki N, Asner GP, Knorr W, Durst PB, Priyadi HR, Putz FE. 2011. Approaches to classifying and restoring degraded tropical forests for the anticipated REDD+ climate change mitigation mechanism. *iForest Biogeosciences and Forestry* 4:1-6. Disponible en línea: <http://www.sisef.it/forest/contents/?id=ifor0556-004>. (Antes de "Salas W, Hagen S, ..." y después de "Schultz MG, Heil A, ...").

Schultz MG, Heil A, Hoelzemann JJ, Spessa A, Thonicke k, Goldammer JG, Held AC, Pereira JMC, van het Bolscher M. 2008. Global wildland fire emissions from 1960 to 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22(2):1-17. doi:10.1029/2007GB003031. Disponible en línea: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GB003031/full>.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2002. Review of the status and trends of, and major threats to, the forest biological diversity. CBD Technical Series 7. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada. Disponible en línea: <http://www.cbd.int/doc/publications/cbdts-07.pdf>.

Shapiro AC, Aguilar-Amuchastegui N, Hostert P, Bastin J-F. 2016. Using fragmentation to assess degradation of forest edges in Democratic Republic of Congo. *Carbon Balance and Management* 11:11. doi:10.1186/s13021-016-0054-9. Disponible en línea: <https://cbmjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13021-016-0054-9>.

Shimabukuro YE, Beuchle R, Grecchi RC, Achard F. 2014. Assessment of forest degradation in Brazilian Amazon due to selective logging and fires using time series of fraction images derived from Landsat ETM+ images. *Remote Sensing Letters* 5(9):773-782. doi:10.1080/2150704X.2014.967880.

Skutsch M, Torres AB, Mwampamba T, Ghilardi A, Herold M. 2011. Dealing with locally-driven degradation: A quick start option under REDD+. *Carbon Balance Management* 6:16. doi:10.1186/1750-0680-6-16. Disponible en línea: <http://www.cbmjournal.com/content/6/1/16>.

Smith P, Bustamante M, Ahammad H, Clark H, Dong H, Elsidig EA, Harberl H, Harper R, House J, Jafari M, Masera O, Mbow C, Ravindranath NH, Rice CW, Robledo Abad C, Romanovskaya A, Sperling F, Tubiello F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Minx JC, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T (eds). 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en línea: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf.

Solberg S, Næsset E, Gobakken T, Bollandsås O. 2014. Forest biomass change estimated from height change in interferometric SAR height models. *Carbon Balance and Management* 9:5. Disponible en línea: <http://www.cbmjournal.com/content/9/1/5>.

Souza CM, Barreto P. 2000. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing* 21(1):173-179.

Souza CM, Firestone L, Silva LM, Roberts D. 2003. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment* 84(4):494-506.

Souza CM, Roberts DA, Monteiro AL. 2005a. Multitemporal analysis of degraded forests in the Southern Brazilian Amazon. *Earth Interactions* 9(19):1-25.

Souza CM, Roberts DA, Cochrane MA. 2005b. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment* 98(2-3):329-343.

Souza CM, Siqueira JV, Sales MH, Fonseca A, Ribeiro JG, Numata I, Cochrane MA, Barber CP, Roberts DA, Barlow J. 2009. Ten-year Landsat Classification of Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing* 5:5493-5513. Disponible en línea: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/11/5493>.

Souza CM, Siqueira JV. 2013. *ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBR. Foz do Iguaçu, PR,

Brazil. Disponible en línea: <http://amazon.org.br/PDFamazon/Portugues/congressos%20e%20anais/p1235.pdf>.

Stone TA, Lefebvre P. 1998. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. *International Journal of Remote Sensing* 19(13):2517-2526.

T

Tavani R, Saket M, Piazza M, Branthomme A, Altrel D. 2009. Case studies measuring and assessing forest degradation. Measuring and monitoring forest degradation through national forest monitoring assessment. *Forest Resources Assessment Working Paper* 172. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/012/k8592e/k8592e00.pdf>.

Thompson DI, Guariguata MR, Okabe K, Bahamondez C, Nasi R, Heymell V, Sabogal C. 2013. An operational framework for defining and monitoring forest degradation. *Ecology and Society* 18(2):20. Disponible en línea: <http://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss2/art20/>.

Tyukavina A, Hansen MC, Potapov P, Goetz SJ. 2016. Pan-tropical hinderland forests: mapping minimally disturbed forests. *Global Ecology and Biogeography* 25:151-163. doi:10.1111/geb.12394. Disponible en línea: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.12394/full>.

U

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2002. Report of the Conference of Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. FCCC/CP/2001/13/Add.1. Decision 11/CP.7, ANNEX. United Nations Framework Convention on Climate Change, Marrakesh,

Morocco. Disponible en línea: <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf>.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2008. Informal Meeting of Experts on Methodological Issues Relating to Reducing Emissions from Forest Degradation in Developing Countries. 20-21 October 2008, Bonn, Germany. Chair's Summary of Key Messages from the Meeting. Disponible en línea: http://unfccc.int/files/land_use_and_climate_change/redd/application/pdf/chair_summary_of_meeting.pdf.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2010. Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. FCCC/CP/2009/11/Add.1. Decision 4/CP.15. United Nations Framework Convention on Climate Change, Copenhagen, Denmark. Disponible en línea: http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?preref=600005734.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2011. Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. FCCC/CP/2010/7/Add.1. Decision 1/CP.16, par. 71 (c). United Nations Framework Convention on Climate Change, Cancun, Mexico. Disponible en línea: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11>.

V

Van der Werf GR, Morton DC, DeFries RS, Olivier JGJ, Kasibhatla PS, Jackson RB, Collatz GJ, Randerson JT. 2009. CO₂ emissions from forest loss. *Nature Geoscience* 2:737-738.

Van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, Collatz GJ, Mu M, Kasibhatla P., Morton DC, DeFries RS, Jin Y, van Leeuwen TT. 2010.

Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 10:11707-11735.

Vieira S, de Camargo PB, Selhorst D, da Silva R, Hutyrá L, Chambers JQ, Brown IF, Higuchi N, dos Santos J, Wofsy SC, Trumbore SE, Martinelli LA. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia* 140:468-479. doi:10.1007/s00442-004-1598-z.

Vogt P, Riitters KH, Estreguil C, Kozak J, Wade TG, Wickham JD. 2007. Mapping spatial patterns with morphological image processing *Landscape Ecology* 22:171-177. doi:10.1007/s10980-006-9013-2.

W

World Bank. 2016. Carbon Fund Methodological Framework. Disponible en línea: <https://www.forestcarbonpartnership.org/carbon-fund-methodological-framework>.

Z

Zhu Z, Woodcock CE. 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 144:152-171.

Zhuravleva I, Turubanova S, Potapov P, Hansen M, Tyukavina A, Minnemeyer S, Laporte N, Goetz S, Verbelen F, Thies C. 2013. Satellite-based primary forest degradation assessment in the Democratic Republic of Congo, 2000-2010. *Environmental Research Letters* 8:024034. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024034. Disponible en línea: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/2/024034/meta;jsessionid=BFBC0A5F3B6BF843837265E605C3D0EB.c1.iopscience.cld.iop.org>.

7

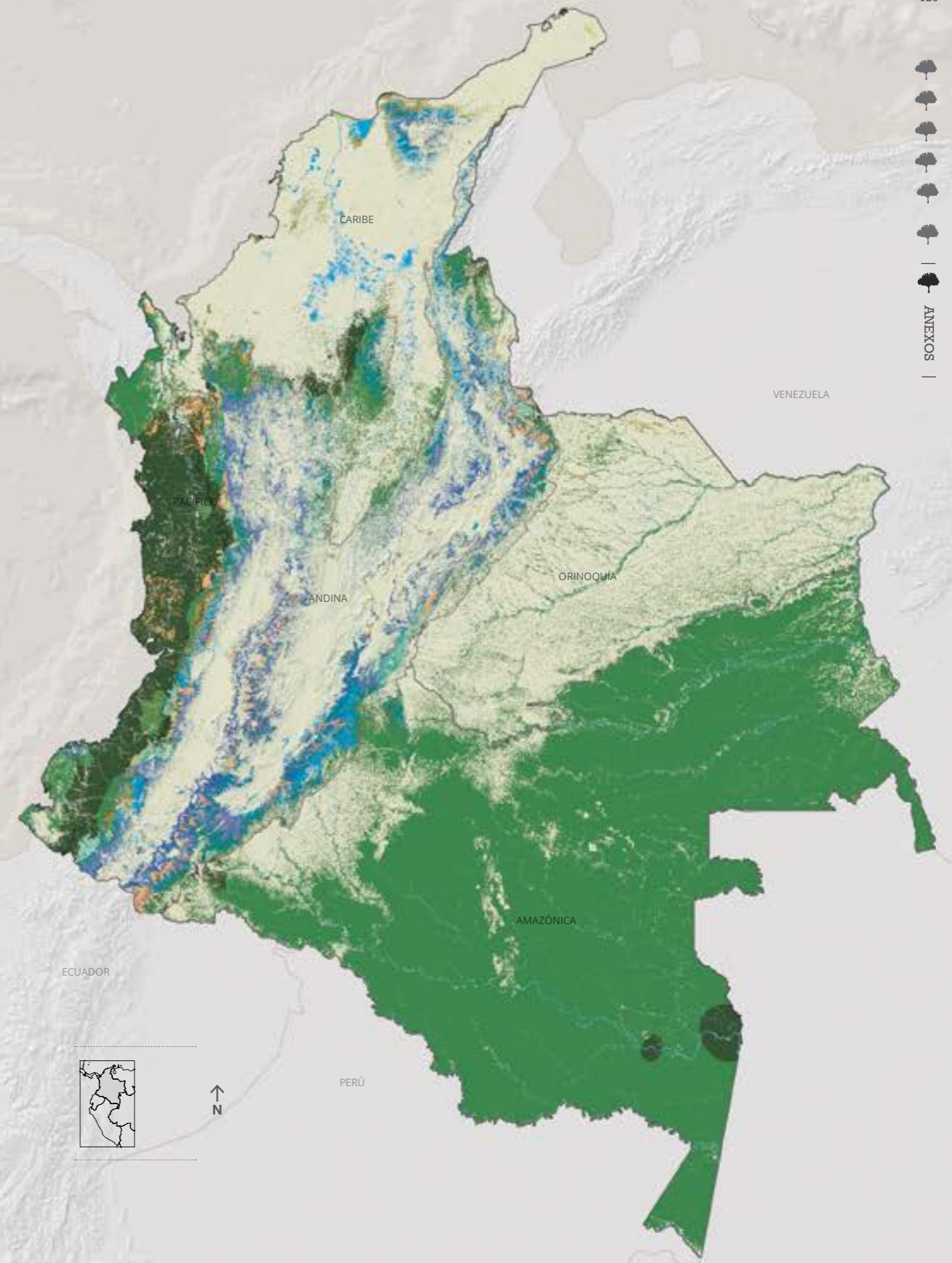
ESTIMACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE
BOSQUES DE COLOMBIA A TRAVÉS DE
UN ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

ANEXOS

📷 Cortesía del Servicio Geológico
de Estados Unidos. 2018

Imagen Landsat-8. 13/12/2017. Solano.

MAPA DE COBERTURAS DE BOSQUE DE COLOMBIA AÑO 2015



Anexo 1. Mapa de coberturas de bosque de Colombia del año 2015, siguiendo la clasificación bioclimática propuesta por Holdridge y colaboradores (1971), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual se estratifica la vegetación utilizando como variable diagnóstica la evapotranspiración potencial expresada en función del equilibrio entre la precipitación total y la temperatura media.



Anexo 2. Media de la biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de estatificación de Holdridge y colaboradores (1971), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), estimada a partir de ecuaciones alométricas desarrolladas por Chave y colaboradores (2005) (Chave I), Álvarez y colaboradores (2012) (Álvarez) y Chave y colaboradores (2014) (Chave II) (estimaciones realizadas en función del diámetro de los individuos y la densidad básica de la madera por Phillips *et al.* 2014) y del mapa de biomasa aérea de Colombia del año 2007 (Mapa Biomasa Aérea 2007) (de Galindo *et al.* 2011c.)

Tipo de bosque	Modelo	Media de la biomasa aérea (MgC/ha)	Intervalo de confianza (MgC/ha)
Húmedo tropical	Chave I	311,40	13,30
	Álvarez	287,00	10,90
	Chave II	342,90	19,60
	Mapa Biomasa Aérea 2007	277,29	52,03
Muy húmedo tropical	Chave I	232,70	12,90
	Álvarez	283,80	14,70
	Chave II	342,00	20,20
	Mapa Biomasa Aérea 2007	285,05	76,84
Muy seco tropical	Chave I	-	-
	Álvarez	-	-
	Chave II	-	-
	Mapa Biomasa Aérea 2007	133,32	50,43
Pluvial tropical	Chave I	157,50	18,20
	Álvarez	185,70	21,10
	Chave II	214,20	25,60
	Mapa Biomasa Aérea 2007	238,92	45,84
Húmedo montano bajo	Chave I	250,70	19,90
	Álvarez	275,40	17,70
	Chave II	331,80	24,90
	Mapa Biomasa Aérea 2007	272,26	54,87
Muy húmedo montano bajo	Chave I	292,80	39,90
	Álvarez	242,10	27,00
	Chave II	299,10	45,30
	Mapa Biomasa Aérea 2007	268,56	52,02
Seco montano bajo	Chave I	164,10	32,80
	Álvarez	182,40	26,70
	Chave II	225,90	63,90
	Mapa Biomasa Aérea 2007	200,04	55,94
Pluvial montano bajo	Chave I	-	-
	Álvarez	-	-
	Chave II	-	-
	Mapa Biomasa Aérea 2007	272,66	49,83

Tipo de bosque	Modelo	Media de la biomasa aérea (MgC/ha)	Intervalo de confianza (MgC/ha)
Muy húmedo montano	Chave I	261,40	52,40
	Álvarez	124,80	19,20
	Chave II	342,00	64,10
	Mapa Biomasa Aérea 2007	191,31	45,21
Húmedo montano	Chave I	-	-
	Álvarez	-	-
	Chave II	-	-
	Mapa Biomasa Aérea 2007	172,31	44,24
Pluvial montano	Chave I	232,30	33,40
	Álvarez	272,10	41,00
	Chave II	345,20	54,70
	Mapa Biomasa Aérea 2007	193,91	45,77
Húmedo premontano	Chave I	227,40	28,30
	Álvarez	225,80	23,30
	Chave II	263,40	29,80
	Mapa Biomasa Aérea 2007	240,91	56,33
Muy húmedo premontano	Chave I	262,10	23,90
	Álvarez	220,10	16,10
	Chave II	286,90	27,50
	Mapa Biomasa Aérea 2007	249,61	43,78
Seco premontano	Chave I	-	-
	Álvarez	-	-
	Chave II	-	-
	Mapa Biomasa Aérea 2007	184,57	36,71
Pluvial premontano	Chave I	-	-
	Álvarez	-	-
	Chave II	-	-
	Mapa Biomasa Aérea 2007	267,21	47,20
Seco tropical	Chave I	241,90	54,20
	Álvarez	129,30	17,90
	Chave II	249,30	48,90
	Mapa Biomasa Aérea 2007	185,53	55,89



Anexo 3. Factores de emisión de las transiciones entre las clases de fragmentación para deforestación primaria, deforestación secundaria, degradación primaria y degradación secundaria, utilizadas para la estimación de la pérdida de biomasa media anual.

Combinación entre las clases de fragmentación	Transición	Factor de emisión (MgC/ha)
Núcleo - No bosque	Deforestación primaria	142,06
Parche - No bosque	Deforestación secundaria	34,53
Borde - No bosque	Deforestación secundaria	70,73
Perforado - No bosque	Deforestación secundaria	114,53
Núcleo - Parche	Degradación primaria	107,53
Núcleo - Borde	Degradación primaria	71,33
Núcleo - Perforado	Degradación primaria	27,53
Borde - Parche	Degradación secundaria	36,20
Perforado - Parche	Degradación secundaria	80,00
Perforado - Borde	Degradación secundaria	43,80



Anexo 4. Área en hectáreas de las matrices de transición entre las clases de fragmentación para Colombia y sus regiones naturales durante los periodos 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012, 2012-2013 y 2013-2014. Bosque estable (■), bosque degradado sin cambios (■), degradación secundaria (■), degradación primaria (■), deforestación secundaria (■), deforestación primaria (■), no bosque estable (■), regeneración (■).

	Nacional				
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	48.704.950	80.735	202.349	43.999	130.196
Parche	261.142	719.082	40	4	0
Borde	727.053	202.244	4.773.022	1	5
Perforado	149.070	8.349	259.629	1.174.042	19
Núcleo	439.484	18.455	602.442	454.972	52.036.367
2005 - 2010					
No bosque	50.023.408	79.444	179.338	30.946	97.111
Parche	275.133	696.586	0	0	0
Borde	626.881	191.493	4.767.698	0	0
Perforado	119.757	8.071	265.959	1.005.811	0
Núcleo	387.122	18.750	614.245	529.534	50.957.688
2010 - 2012					
No bosque	51.755.274	216	669	71	18.509
Parche	38.750	999.205	6	0	0
Borde	146.888	52.063	5.771.520	1	0
Perforado	29.041	1.475	85.411	1.532.095	0
Núcleo	114.597	3.702	170.251	187.136	50.562.478
2012 - 2013					
No bosque	52.118.232	29	43	22	3.037
Parche	8.903	1.069.368	0	0	0
Borde	53.336	33.734	5.884.377	0	0
Perforado	9.609	988	61.810	1.638.351	0
Núcleo	47.571	1.615	109.851	126.944	50.084.815
2013 - 2014					
No Bosque	52.859.889	5	24	6	72
Parche	8.646	1.127.128	0	0	0
Borde	59.518	19.099	6.100.413	0	0
Perforado	12.227	457	27.187	1.761.825	0
Núcleo	60.496	814	60.735	72.439	49.819.349
2014 - 2015					
No Bosque	52.990.711	16	2	0	26
Parche	6.381	1.088.255	0	0	0
Borde	53.612	29.160	5.879.076	0	0
Perforado	11.672	718	44.291	1.624.366	5
Núcleo	52.031	12.075	132.881	80.957	50.562.478

Región Amazónica					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	4.796.331	4.402	17.163	4.643	12.872
Parche	39.937	72.911	40	4	0
Borde	205.996	33.030	1.305.691	1	5
Perforado	48.933	1.647	98.467	389.379	19
Núcleo	187.780	3.733	233.195	181.059	38.218.581
2005 - 2010					
No bosque	5.263.978	2.592	9.331	3.685	17.769
Parche	33.376	76.934	0	0	0
Borde	175.793	29.701	1.410.180	0	0
Perforado	37.981	1.496	78.565	435.772	0
Núcleo	147.078	3.166	176.016	158.289	37.757.268
2010 - 2012					
No bosque	5.648.823	5	14	8	18.241
Parche	10.210	95.234	6	0	0
Borde	80.080	13.780	1.529.078	1	0
Perforado	17.416	445	42.134	528.627	0
Núcleo	79.419	985	90.049	92.418	37.573.376
2012 - 2013					
No bosque	5.899.366	0	0	0	3.001
Parche	2.479	107.432	0	0	0
Borde	28.925	17.660	1.609.850	0	0
Perforado	5.023	474	39.108	579.299	0
Núcleo	30.833	896	77.305	60.144	37.427.366
2013 - 2014					
No bosque	5.967.862	0	0	0	28
Parche	1.899	124.554	0	0	0
Borde	26.928	4.956	1.692.689	0	0
Perforado	4.500	106	9.413	625.544	0
Núcleo	30.530	197	27.319	20.558	37.349.787
2014 - 2015					
No bosque	6.031.196	7	1	0	21
Parche	1.741	115.094	0	0	0
Borde	25.289	5.832	1.619.533	0	0
Perforado	4.033	166	16.822	560.002	5
Núcleo	25.776	11.582	88.490	33.576	37.328.489

Región Andina					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	16.151.552	43.758	92.352	19.388	47.623
Parche	113.772	323.195	0	0	0
Borde	267.805	94.809	1.727.641	0	0
Perforado	52.233	3.642	95.766	437.285	0
Núcleo	121.204	7.259	205.207	159.150	7.825.603
2005 - 2010					
No bosque	16.478.073	42.248	88.391	17.758	48.866
Parche	132.353	308.603	0	0	0
Borde	234.187	96.953	1.639.744	0	0
Perforado	40.219	3.212	98.339	352.603	0
Núcleo	117.507	8.103	222.039	220.305	7.247.081
2010 - 2012					
No bosque	16.992.071	19	66	34	71
Parche	15.300	469.086	0	0	0
Borde	32.465	25.119	2.054.385	0	0
Perforado	7.045	758	31.290	587.620	0
Núcleo	17.902	1.832	53.209	71.729	7.161.676
2012 - 2013					
No bosque	17.078.565	5	21	15	17
Parche	3.053	510.742	0	0	0
Borde	11.965	9.134	2.087.875	0	0
Perforado	2.644	302	12.423	611.952	0
Núcleo	8.336	379	17.364	40.276	6.642.165
2013 - 2014					
No bosque	17.480.805	1	4	4	8
Parche	2.951	541.187	0	0	0
Borde	14.131	6.971	2.201.485	0	0
Perforado	3.965	163	9.013	663.272	0
Núcleo	12.613	201	15.109	24.633	6.512.891
2014 - 2015					
No bosque	17.512.825	0	0	0	1
Parche	2.043	520.482	0	0	0
Borde	12.507	10.672	2.105.058	0	0
Perforado	3.665	241	13.056	611.337	0
Núcleo	10.960	211	20.890	22.723	7.165.484

Región Orinoquía					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	14.338.483	14.728	40.890	2.313	10.590
Parche	31.022	164.006	0	0	0
Borde	79.214	27.428	1.043.103	0	0
Perforado	4.881	236	9.912	32.414	0
Núcleo	21.786	1.336	49.832	14.039	781.632
2005 - 2010					
No bosque	14.409.508	16.032	44.761	1.763	5.077
Parche	22.737	174.335	0	0	0
Borde	70.787	27.615	1.049.742	0	0
Perforado	3.756	231	8.945	34.863	0
Núcleo	16.805	1.125	49.520	12.887	745.869
2010 - 2012					
No bosque	14.569.452	23	422	15	145
Parche	4.303	227.142	0	0	0
Borde	14.746	5.311	1.180.330	0	0
Perforado	1.053	44	2.730	51.593	0
Núcleo	5.266	241	9.780	4.068	696.011
2012 - 2013					
No bosque	14.632.076	2	4	6	4
Parche	1.204	237.825	0	0	0
Borde	5.106	2.181	1.191.579	0	0
Perforado	336	14	898	54.531	0
Núcleo	2.123	79	3.317	1.457	689.725
2013 - 2014					
No bosque	14.664.299	2	20	2	37
Parche	1.050	241.563	0	0	0
Borde	6.274	2.579	1.193.332	0	0
Perforado	487	20	1.012	55.051	0
Núcleo	2.858	85	4.416	2.337	678.023
2014 - 2015					
No bosque	14.675.815	1	0	0	0
Parche	848	237.358	0	0	0
Borde	5.238	5.675	1.173.537	0	0
Perforado	386	30	1.499	54.123	0
Núcleo	2.632	75	8.459	1.889	684.034

Región Caribe					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	12.909.284	16.233	36.452	6.996	19.170
Parche	67.542	150.304	0	0	0
Borde	121.243	41.174	492.025	0	0
Perforado	16.061	1.574	23.448	95.194	0
Núcleo	49.222	4.274	54.723	25.593	897.014
2005 - 2010					
No bosque	13.179.283	17.450	30.659	5.402	16.289
Parche	80.166	128.059	0	0	0
Borde	103.685	27.407	456.808	0	0
Perforado	12.290	1.012	20.752	85.436	0
Núcleo	41.004	2.665	46.419	29.217	847.120
2010 - 2012					
No bosque	13.551.021	169	155	13	41
Parche	8.455	177.786	0	0	0
Borde	17.061	7.453	567.173	0	0
Perforado	2.115	186	6.389	130.376	0
Núcleo	7.054	588	12.271	7.813	847.815
2012 - 2013					
No bosque	13.521.042	23	17	1	15
Parche	1.997	181.125	0	0	0
Borde	5.776	2.870	580.893	0	0
Perforado	940	56	3.323	131.230	0
Núcleo	3.662	113	5.424	6.376	846.656
2013 - 2014					
No bosque	13.641.784	2	0	0	0
Parche	2.435	184.261	0	0	0
Borde	8.523	3.740	580.737	0	0
Perforado	1.573	78	4.205	133.084	0
Núcleo	6.339	134	6.921	8.335	816.408
2014 - 2015					
No bosque	13.661.857	7	1	0	5
Parche	1.474	182.185	0	0	0
Borde	7.166	5.334	571.724	0	0
Perforado	1.599	105	5.448	131.152	0
Núcleo	6.193	134	7.481	8.175	832.767

Región Pacífico					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2005					
No bosque	509.299	1.615	15.493	10.659	39.940
Parche	8.869	8.665	0	0	0
Borde	52.794	5.803	204.562	0	0
Perforado	26.962	1.250	32.036	219.771	0
Núcleo	59.492	1.852	59.485	75.132	4.313.537
2005 - 2010					
No bosque	692.564	1.123	6.196	2.337	9.109
Parche	6.501	8.655	0	0	0
Borde	42.428	9.818	211.224	0	0
Perforado	25.511	2.120	59.359	97.137	0
Núcleo	64.727	3.691	120.251	108.836	4.360.351
2010 - 2012					
No bosque	993.907	1	11	1	11
Parche	482	29.958	0	0	0
Borde	2.536	401	440.555	0	0
Perforado	1.412	42	2.868	233.879	0
Núcleo	4.956	56	4.942	11.108	4.644.548
2012 - 2013					
No bosque	987.183	0	0	0	0
Parche	169	32.245	0	0	0
Borde	1.564	1.890	414.180	0	0
Perforado	666	142	6.058	261.338	0
Núcleo	2.617	147	6.440	18.691	4.478.902
2013 - 2014					
No bosque	1.105.138	0	0	0	0
Parche	312	35.563	0	0	0
Borde	3.662	852	432.170	0	0
Perforado	1.701	89	3.545	284.874	0
Núcleo	8.156	198	6.970	16.576	4.462.241
2014 - 2015					
No bosque	1.109.019	0	0	0	0
Parche	276	33.136	0	0	0
Borde	3.412	1.647	409.224	0	0
Perforado	1.989	176	7.466	267.752	0
Núcleo	6.470	73	7.561	14.594	4.551.704



Anexo 5. Área en hectáreas de las matrices de transición entre las clases de fragmentación para la región Amazónica durante los periodos 2000-2002, 2002-2004, 2004-2008 y 2008-2010. Bosque estable (■), bosque degradado sin cambios (■), degradación secundaria (■), degradación primaria (■), deforestación secundaria (■), deforestación primaria (■), no bosque estable (■), regeneración (■).

Región Amazónica					
	No bosque	Parche	Borde	Perforado	Núcleo
2000 - 2002					
No bosque	4.827.469	1.947	8.964	3.978	9.568
Parche	18.916	98.100	14	3	5
Borde	70.365	13.409	1.496.730	11	26
Perforado	14.329	491	35.863	520.516	77
Núcleo	50.447	770	66.423	70.752	38.556.191
2002 - 2004					
No bosque	4.984.947	1.991	6.562	2.236	5.052
Parche	15.729	93.173	22	3	2
Borde	88.325	19.992	1.462.521	8	16
Perforado	20.736	871	57.834	503.424	42
Núcleo	66.806	1.434	107.983	93.531	38.334.056
2004 - 2006					
No bosque	5.169.593	1.097	3.578	1.905	4.694
Parche	15.238	96.223	17	1	2
Borde	74.706	18.724	1.504.015	6	10
Perforado	18.664	772	51.401	515.853	27
Núcleo	56.237	1.104	89.842	88.067	38.139.869
2006 - 2008					
No bosque	5.347.757	198	530	310	2.353
Parche	14.477	100.442	7	2	0
Borde	74.374	15.264	1.544.330	2	1
Perforado	16.796	713	41.799	546.227	5
Núcleo	52.324	1.101	71.049	54.715	37.956.043
2008 - 2010					
No bosque	5.501.947	618	1.839	605	3.390
Parche	16.507	96.584	29	3	0
Borde	62.306	17.016	1.555.721	3	6
Perforado	13.983	707	44.612	531.156	13
Núcleo	45.916	1.096	68.311	72.425	37.802.542



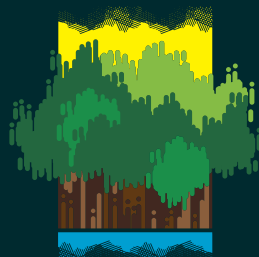
El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), es un conjunto de herramientas, procedimientos y profesionales especializados en generar información que permita conocer dónde, cuándo y por qué están sucediendo cambios en la superficie y en los contenidos de carbono de los bosques del país. El SMByC busca generar información cada vez más oportuna que sirva para reducir la deforestación y la degradación en el país y facilitar la toma de decisiones.

Para mayor información ingrese a:

<http://www.ideam.gov.co/>

HYPERLINK "<http://smbyc.ideam.gov.co/>

" \t "_blank" <http://smbyc.ideam.gov.co>



**BOSQUES
TERRITORIOS
DE VIDA**

Estrategia Integral de Control a la
Deforestación y Gestión de los Bosques

El Programa ONU-REDD es la iniciativa de colaboración de las Naciones Unidas para REDD+ en países en desarrollo. Se soporta en la capacidad de convocatoria y la experiencia técnica de: la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente).

ONU-REDD apoya los procesos de preparación para REDD+ de los países y promueve la participación informada de todas las partes interesadas, incluidos los pueblos indígenas y otras comunidades dependientes de los bosques. En Colombia el Programa ONU-REDD tiene la misión de apoyar el fortalecimiento de las capacidades nacionales para la preparación del país en la implementación de REDD+. ONU-REDD trabaja coordinadamente con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y con las organizaciones étnicas y sociales que representan a las comunidades que dependen de los bosques, en el Desarrollo de capacidades técnicas y el fortalecimiento de capacidades para la toma de decisiones sobre REDD+.



GOBIERNO DE COLOMBIA



MINAMBIENTE



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

**PROGRAMA
ONU-REDD**



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Al servicio
de las personas
y las naciones

ONU 
medio ambiente

- ESTIMACIÓN

DE LA DEGRADACIÓN DE BOSQUES

de Colombia a través de un análisis de fragmentación -

ISBN 978-92-5-130581-2



9 789251 305812

19581ES/1/05.18