

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“MAPEO ANUAL DE LA COBERTURA Y EL USO DEL SUELO DE  
LA PAN-AMAZONÍA PARA EL MONITOREO DEL BOSQUE”**

Presentado por:

**Andrea Verónica Bravo Sánchez**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar por el título de  
**INGENIERA FORESTAL**

**Lima – Perú  
2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“MAPEO ANUAL DE LA COBERTURA Y EL USO DEL SUELO DE  
LA PAN-AMAZONÍA PARA EL MONITOREO DEL BOSQUE”**

Presentado por:

**ANDREA VERÓNICA BRAVO SÁNCHEZ**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar por el Título Profesional de:

**INGENIERA FORESTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

.....  
Ing. Pedro Gonzalo Vásquez Ruesta, Mg. Sc.  
**PRESIDENTE**

.....  
Ing. Zoila Aurora Cruz Burga, Dra.  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Akira Armando Wong Sato, Dr.  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Carlos Augusto Reynel Rodríguez, Ph.D.  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, por darme amor, educación y hogar.*

*A mí, por mi esfuerzo y perseverancia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:*

*A mi asesor y a los miembros del jurado por su orientación en el desarrollo del documento.*

*A mis compañeros del Instituto del Bien Común y del proyecto MapBiomás Amazonía, por alentarme en la ejecución de esta investigación y contribuir con mi desarrollo profesional.*

*Al Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG (LTA) de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM y a Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo (CANDES) por mostrarme el mundo de la teledetección y de los sistemas de información geográfica, que ahora forma parte de mi día a día.*

*A mis amigos y colegas que, con sus aportes, ayudaron a mejorar la calidad del documento.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>2</b>
1. RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA (RAISG) .....	2
1.1. <i>Ubicación</i> .....	2
1.2. <i>Organización</i> .....	3
1.3. <i>Actividad</i> .....	4
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXPERIENCIA .....	5
2.1. <i>Actividad profesional desempeñada</i> .....	5
2.2. <i>Nombre del proyecto desarrollado</i> .....	6
2.3. <i>Resultados obtenidos</i> .....	6
<b>CAPITULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
1.1. <i>La región Pan-Amazónica</i> .....	9
1.2. <i>Cambio de cobertura y uso del suelo</i> .....	9
1.3. <i>Teledetección</i> .....	10
1.4. <i>Procesamiento de imágenes de satélite</i> .....	10
1.4.1. <i>Imágenes de satélite Landsat</i> .....	10
1.4.2. <i>Clasificación con machine learning Random Forest</i> .....	11
1.4.3. <i>Exactitud y precisión temática</i> .....	12
1.4.4. <i>Google Earth Engine: procesamiento en la nube</i> .....	12
1.5. <i>Otras iniciativas de mapeo de la cobertura y uso del suelo</i> .....	13
2. METODOLOGÍA MAPBIOMAS AMAZONÍA – COLECCIÓN 2.....	15
2.1. <i>Recopilación de información cartográfica</i> .....	16
2.2. <i>Selección de imágenes y generación de mosaicos anuales</i> .....	17
2.3. <i>Leyenda</i> .....	18
2.4. <i>Clasificación</i> .....	19
2.5. <i>Post clasificación</i> .....	21
2.6. <i>Exactitud temática</i> .....	21

2.7. <i>Mapas de transición y estadísticas</i> .....	23
<b>3. METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA VEGETACIÓN</b>	
<b>SECUNDARIA CON MAPBIOMAS</b> .....	<b>23</b>
3.1. <i>Paso 1. Reclasificación anual de “bosque” y “no bosque”</i> .....	24
3.2. <i>Paso 2. Cálculo del incremento anual de vegetación secundaria</i> .....	24
3.3. <i>Paso 3. Cálculo de la extensión anual y pérdida de vegetación secundaria</i> ....	25
3.4. <i>Paso 4. Estimación de la edad de la vegetación secundaria</i> .....	25
<b>CAPITULO III. APORTES Y DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA</b> .....	<b>26</b>
1. RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA .....	26
1.1. <i>Plataforma web MapBiomias Amazonía</i> .....	26
1.2. <i>Tendencias en la cobertura y el cambio de uso del suelo de la Pan Amazonía</i>	28
1.3. <i>Caso práctico para el monitoreo de la vegetación secundaria</i> .....	34
2. APORTES Y DESARROLLO PROFESIONAL.....	37
2.1. <i>Logros y desafíos del proyecto Mapbiomas Amazonía</i> .....	37
2.2. <i>Desarrollo profesional</i> .....	38
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de características espectrales de las imágenes de satélite Landsat .....	11
Tabla 2. Información cartográfica de referencia recopilada para el ámbito de Perú .....	16
Tabla 3. Leyenda de clases de cobertura y uso del suelo de la Colección 2 .....	19
Tabla 4. Superficie anual de coberturas y usos del suelo de la Pan-Amazonía .....	29
Tabla 5. Cambios de cobertura y uso del suelo para el periodo 1985 – 2018 .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límite del área de trabajo de la RAISG .....	3
Figura 2. Evento del lanzamiento de la Colección 1 MapBiomias Amazonía .....	7
Figura 3. Portada de lanzamiento virtual de la Colección 2 MapBiomias Amazonía .....	8
Figura 4. Flujograma metodológico de la Coleccion 2 MapBiomias Amazonía .....	15
Figura 5. Mapa de biomas para generación de mosaicos de la Colección 2 .....	18
Figura 6. Mapa de regiones de clasificación definidas para la Colección 2 .....	20
Figura 7. Interfaz de la herramienta TVI .....	22
Figura 8. Flujograma metodológico para la estimación de la edad de la vegetación secundaria ....	24
Figura 9. Interfaz de plataforma web para visualizar las coberturas y usos .....	27
Figura 10. Interfaz de la plataforma web para visualizar las transiciones de uso .....	27
Figura 11. Superficie del bosque entre 1985 y 2018 .....	28
Figura 12. Superficie de las formaciones naturales no forestales entre 1985 y 2018 .....	31
Figura 13. Superficie del uso agropecuario entre 1985 y 2018 .....	32
Figura 14. Superficie de cuerpos de agua entre 1985 y 2018.....	32
Figura 15. Superficie de los glaciares entre 1985 y 2018.....	33
Figura 16. Raster de edad de vegetación secundaria de Madre de Dios .....	34
Figura 17. Superficie de vegetación secundaria por edad .....	35
Figura 18. Superficie neta anual de vegetación secundaria .....	36
Figura 19. Superficie de incremento y pérdida anual de vegetación secundaria .....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Visualización de rasters de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía .....	46
Anexo 2. Biomas delimitados en el ámbito de trabajo .....	48
Anexo 3. Claves de interpretación de leyenda de la Colección 2.....	49

## RESUMEN

El presente documento tiene por finalidad describir la experiencia de mapeo anual de coberturas y usos del suelo en la Pan-Amazonía, como parte del equipo técnico de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía, una iniciativa de la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. El uso de la plataforma de geoprocésamiento en la nube de Google Earth Engine permitió implementar una metodología basada en clasificación supervisada con *Random Forest*, píxel a píxel, a una serie temporal de 34 años (1985 – 2018) de imágenes Landsat.

Los mapas de MapBiomias Amazonía revelan con una precisión temática general de 93.6% que la Pan-Amazonía perdió, entre los años 1985 y 2018, 72.5 millones de hectáreas de la cobertura vegetal natural (conformados por 69.3 millones de hectáreas de bosques y 3.2 millones de hectáreas de formaciones naturales no forestales), un área equivalente al territorio de Chile. El uso agropecuario reporta un crecimiento de 172% dentro del territorio; pasando de representar un 5% en 1985 a un 13% de la superficie total en 2018.

El documento presenta, además, un caso de aplicación de los productos de MapBiomias Amazonía en el monitoreo del bosque, enfocado a la estimación de la edad de la vegetación secundaria. Asimismo, se mencionan algunos de los logros y los desafíos que se prevén a futuro para el proyecto.

Palabras clave: MapBiomias Amazonía, Cobertura y uso del suelo, Landsat, Google Earth Engine, *Random Forest*

## **ABSTRACT**

This document describes the experience as a remote sensing analyst of the ‘MapBiomass Amazon’ Project, an initiative of the ‘Amazon Network for Social and Environmental Georeferenced Information’ that produce the Amazon’s annual land use/land cover maps. This project provides a 34-year map collection (1985 - 2018) based on Landsat images and uses a Random Forest pixel-based classification method through the Google Earth Engine cloud computing platform.

MapBiomass Amazon maps reveal, with a 93.6% overall accuracy, that the Amazon lost 72.5 million hectares of natural vegetation (69.3 million hectares of forests and 3.2 million hectares of non-forest natural vegetation) between 1985 and 2018, this represents an area as big as Chile’s land surface. Livestock husbandry and agriculture activities expanded by 172%, going from 5% in 1985 to 13% of the Amazon territory in 2018.

This document also presents a case study of the applications of the MapBiomass Amazonía products in forest monitoring, focused on estimating the age of secondary vegetation, highlighting these maps’ potential for science and decision making processes. Finally, some of the project achievements and its future challenges are presented.

Keywords: MapBiomass Amazon, land use/land cover, Landsat, Google Earth Engine, Random Forest

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

BIODAMAZ: Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana

CAN: Comunidad Andina

CDC-UNALM: Centro de Datos para la Conservación – Universidad Nacional Agraria La Molina

CONDESAN: Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina

DGCCD: Degradación Forestal de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación

ECOBONA: Programa Regional para la Gestión Social de Ecosistemas Forestales Andinos

ESA: European Spatial Agency

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus

FAO: Food and Agriculture

GEE: Google Earth Engine

GLAD: Global Land Analysis & Discovery

IAvH: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

IBC: Instituto del Bien Común

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística

ICAE-ULA: Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas - Universidad de Los Andes

IIAP: Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana

LANDSAT: Land Remote Sensing Satellite

LTA-UNALM: Laboratorio de Teledetección Aplicada y de Sistemas de Información Geográfica - Universidad Nacional Agraria La Molina

MINAM: Ministerio del Ambiente del Perú

NASA: National Aeronautics and Space Administration

OLI: Operational Land Imager

OTCA: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica

PNCBMCC: Programa Nacional de Conservación de Bosques y Mitigación del Cambio Climático

SERFOR: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental

SNIFFS: Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre

TM: Thematic Mapper

UNALM: Universidad Nacional Agraria La Molina

USGS: United States Geological Survey

WRI: World Resources Institute

## PRESENTACIÓN

En marzo del año 2017, el proyecto MapBiomias Amazonía dio inicio a su primera colección de mapas anuales de cobertura y uso del suelo en el ámbito de la Pan-Amazonía, como iniciativa de la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG); mediante la aplicación de tecnología gratuita de procesamiento en la nube. Como miembro del proyecto, el Instituto del Bien Común (IBC) formó un equipo multidisciplinario de trabajo, responsable de la generación de los mapas de cobertura y uso del suelo en la cuenca amazónica peruana; y del cual tengo el placer de ser parte para dar respaldo al componente forestal.

Mi participación inició con la evaluación de la propuesta metodológica y cualidades del proyecto original (MapBiomias Brasil, 2015), así como su utilidad para el análisis de la deforestación en la Amazonía peruana como objetivo principal de la RAISG. Luego de realizados los ajustes metodológicos para su aplicación dentro del territorio peruano, el proyecto inició el procesamiento de imágenes satelitales; dando como resultado la “Colección 1 de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía” en marzo de 2019. Esta colección estuvo compuesta por mapas temáticos anuales de 30 metros de resolución espacial para el periodo 2000 a 2017.

Con la experiencia y las lecciones aprendidas de la primera colección, en junio de 2019 se inició la segunda versión del proyecto (Colección 2). Esta colección marcó la transición de un enfoque metodológico de clasificación basada en árboles de decisión empíricos (Colección 1), hacia la aplicación del algoritmo de *machine learning* “*Random forest*”. Se logró un producto de alcance espacial y temporal sin precedentes (1985 - 2018) que fue publicado en julio de 2020. A la fecha, la Colección 3 del proyecto ya se encuentra en proceso, con miras a generar mapas anuales desde 1985 a 2020 con un detalle mayor en la leyenda de clasificación, que serán dispuestos de manera gratuita al público desde la plataforma web del proyecto.

Como actual especialista en teledetección y monitoreo forestal del IBC, y responsable del equipo técnico del bioma amazónico peruano en el proyecto MapBiomias Amazonía, resalto que los conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional fueron claves en el

éxito de las actividades desarrolladas y las propuestas de mejora metodológica que se implementan día a día. Mi contribución profesional responde a la toma de decisiones en cuanto a competencias claves como la comprensión de conceptos básicos asociados al monitoreo del bosque y su importancia, así como el conocimiento local de las diferentes situaciones de cambio de uso y presiones a las que se ha visto sometido el recurso a lo largo de las últimas décadas. Para ello, fueron fundamentales las materias universitarias de Ecología, Manejo Forestal, Política y Legislación Forestal, entre otras; reforzadas con las salidas de campo que permitieron conocer las diferentes realidades a nivel nacional.

Asimismo, los conocimientos adquiridos con las materias de Teledetección Aplicada y Cartografía Forestal me permitieron responder ante problemáticas relacionadas a los fundamentos de la teledetección espacial. Entre ellas se incluye la selección de imágenes de acuerdo a los objetivos y la selección de variables e índices espectrales para la detección de determinadas coberturas y usos, entendiendo la complejidad y dinámica del terreno o ecosistema.

A estas competencias, se les suma el manejo de bases de datos adquirido gracias al curso de Sistemas de Información Geográfica y otras herramientas informáticas que me permitieron brindar soluciones rápidas y eficaces al proyecto. Estas se hicieron visibles, además, en actividades desarrolladas para el Sistema de Información sobre Comunidades Nativas de la Amazonía Peruana (SICNA) del IBC. Como parte del proyecto “Territorios Indígenas Amazónicos: Reconocer y responder a los riesgos de la pérdida de bosques” financiado por Norwegian Agency for Development Cooperation (NORAD) en el marco de la RAISG, realicé visitas de campo para la actualización de la data georreferenciada, socioeconómica y ambiental de las comunidades nativas y asentamientos ribereños de la Amazonía peruana.

Por último, mi participación en el desarrollo de talleres técnicos de difusión del proyecto MapBiomás Amazonía y de capacitaciones a entidades públicas como el MINAM, el SERFOR y el SERNANP; me dio la oportunidad de dar a conocer al sector público el potencial de uso de tecnologías de código abierto, en términos de costo, accesibilidad, rapidez y escala de procesamiento de datos espaciales.

## INTRODUCCIÓN

La teledetección forestal, como campo temático de la ingeniería forestal, viene siendo aplicada con mayor frecuencia por diferentes organizaciones en los últimos años. Malleux (2003) indica que el constante y acelerado avance en la tecnología satelital, así como la apremiante necesidad de evaluar los recursos naturales en la región amazónica peruana, con el fin de obtener información actualizada, confiable, rápida y de bajo costo, hacen de la imagen satelital un instrumento cada vez más importante en los estudios del bosque tropical.

En ese sentido, la detección de cambios en la cobertura y uso del suelo surgen con la finalidad de estimar las pérdidas e incrementos de cobertura vegetal. Es así que, desde la década del 2000, diversas iniciativas de monitoreo forestal han surgido para contribuir, principalmente, a la toma de decisiones oportunas para la gestión del territorio. Si bien las iniciativas globales (FAO, 2018; WRI, 2014; ESA, 2005) y las de escala regional o continental (CAN, 2009; OTCA, 2016) representan grandes avances en el campo de la teledetección forestal a nivel Pan-Amazónico; al 2017 no se contaba con información multitemporal, estandarizada y detallada sobre las coberturas y usos dentro de esta región.

La iniciativa MapBiomias Amazonía fue creada en 2017 para producir mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazónica, utilizando herramientas de geoprocésamiento en la nube e imágenes Landsat. De acuerdo con el portal web del proyecto ([www.amazonia.mapbiomas.org](http://www.amazonia.mapbiomas.org)), este se apoya en tres pilares: i) el desarrollo e implementación de una metodología de bajo costo, rápida y fiable; ii) la creación de una plataforma abierta que facilite la difusión de la metodología; y iii) el establecimiento de una red colaborativa de expertos en el mapeo de la cobertura y uso del suelo, y sus cambios.

El presente documento busca describir la experiencia de mapeo anual de la cobertura y el uso del suelo de la Pan-Amazónica en el marco del proyecto MapBiomias Amazonía; con enfoque en la metodología de la Colección 2. Además, describe un caso de aplicación de los productos de MapBiomias Amazonía en el monitoreo del bosque, enfocado a la estimación de la edad de la vegetación secundaria. Asimismo, se describen los logros y los desafíos que se prevén a futuro para el proyecto.

## **CAPITULO I. Aspectos generales**

En este capítulo se presenta a la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG), organización líder del proyecto de mapeo anual de coberturas y usos del suelo de la Pan-Amazonía “MapBiomias Amazonía”. Además, se describe de manera general la experiencia del profesional forestal dentro del proyecto, con especial enfoque en las actividades desempeñadas y los principales resultados.

### **1. RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA (RAISG)**

La Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) es un consorcio de organizaciones de la sociedad civil de los países amazónicos orientado a la sostenibilidad socioambiental de la Amazonía, con apoyo de la cooperación internacional (<https://amazoniasocioambiental.org>).

Con el fin de que la Amazonía sea entendida y planificada de una manera integral, transfronteriza y holística para fortalecer los servicios socioambientales que presta a la humanidad, la RAISG busca producir información y conocimientos capaces de incidir sobre la generación de políticas públicas sostenibles.

En ese sentido, la RAISG trabaja en la detección de deforestación de la Amazonía para estimar la pérdida de bosques en toda la región, por ser un indicador de la velocidad de transformación del paisaje y para comprender los procesos de cambio y su incidencia. Para ello, utiliza protocolos que facilitan el análisis comparativo entre los diferentes países amazónicos.

#### **1.1. Ubicación**

El ámbito de acción de la RAISG y del proyecto MapBiomias Amazonía cubre una extensión total de 843.5 millones de hectáreas, y corresponde a los territorios de la cuenca del río Amazonas de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guayana francesa, Perú, Surinam

y Venezuela. Además de una parte de la cuenca del río Orinoco y su delta, las cuencas de los ríos Cuyuní, Esequibo, Surinam y demás ríos costeros de las tres Guyanas (Figura 1).

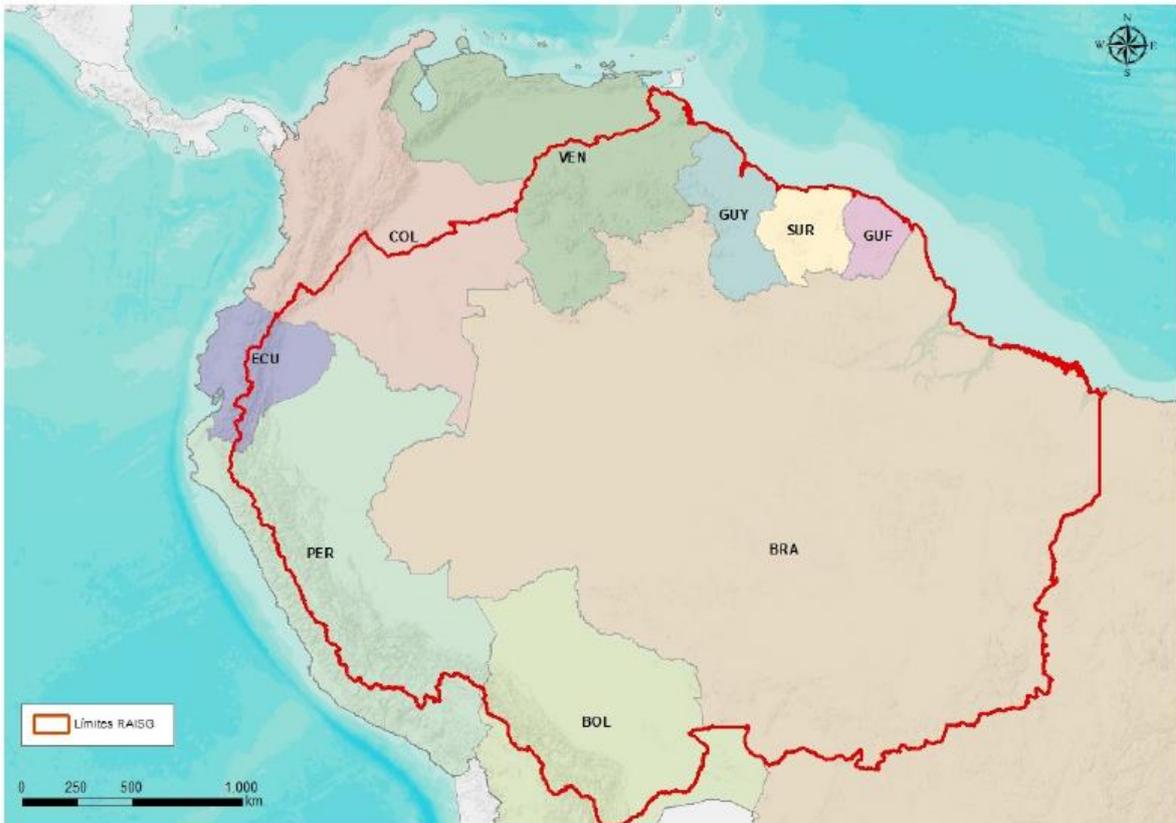


Figura 1. Límite del área de trabajo de la RAISG. Territorio de la región Pan-Amazónica definida por el límite biogeográfico y los países que la comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela). Fuente: Proyecto MapBiomás Amazonía (2020)

## 1.2. Organización

La RAISG está compuesta por organizaciones de la sociedad civil con representantes institucionales en seis de los países que comparten la Amazonía: la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), como representante de Bolivia; el Instituto Socioambiental (ISA) y el Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), de Brasil; la Fundación Gaia Amazonas (FGA) de Colombia; la Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos (EcoCiencia) de Ecuador; el Instituto del Bien Común (IBC) de Perú; y las instituciones Provita y Wataniba representando a Venezuela.

Cada país cuenta con representantes en la coordinación y el equipo técnico. La coordinación general cumple el papel de dinamizar la red, mantener las comunicaciones, identificar aliados, buscar financiamiento, programar las actividades y establecer las alianzas. Mientras que el grupo técnico es el responsable directo del desarrollo de las actividades. Actualmente sus miembros se han especializado y se dividen en grupos temáticos.

### **1.3. Actividad**

Desde el año 2009, la RAISG trabaja en la elaboración de mapas de deforestación de la Pan-Amazonía a partir de imágenes de los satélites del programa Landsat. Como primera iniciativa semi automatizada, la red utilizó el software IMGTools desarrollado por investigadores de IMAZON (Souza & Siqueira, 2013). La metodología consideró al año 2000 como la línea base y se detectó la pérdida de bosque para los años 2005, 2010 y 2013. Años más tarde, la herramienta migró a la plataforma Google Earth Engine, de procesamiento gratuito en la nube, con la que se consiguió un mapa de deforestación para el período 2013 – 2015.

Como resultado de esos años de trabajo, la RAISG ha realizado diferentes publicaciones como las que se mencionan a continuación; las cuales pueden ser descargadas de su página web<sup>1</sup>.

- Atlas de Amazonía bajo presión (2012)
- Atlas de Amazonía ecuatoriana bajo presión (2013)
- Atlas de deforestación en la Amazonia: 1970 - 2013 (2015)
- Cartografía histórica de Áreas Naturales Protegidas y Territorios Indígenas en la Amazonía (2017)
- Mapa de Áreas Protegidas y Territorios Indígenas de la Amazonía (2009, 2012, 2015, 2016, 2019)
- Mapa de densidad de carbono (2014)
- Mapa de deforestación al 2013: Áreas Protegidas y Territorios Indígenas (2015)

---

<sup>1</sup> <https://www.amazoniasocioambiental.org>

- Mapa de Presiones y Amenazas sobre las Áreas Protegidas y los Territorios Indígenas de la Amazonía (2015, 2018)

La más reciente iniciativa de mapeo automatizado de la red involucra la generación de mapas anuales de cobertura y uso del suelo, aplicando la metodología del proyecto MapBiomias Amazonía. Este proyecto, iniciado en marzo de 2017, ya se encuentra en su tercera edición (Colección 3) de mapas y prevé su lanzamiento para el año 2021.

## **2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXPERIENCIA**

### **2.1. Actividad profesional desempeñada**

El cargo de especialista forestal para el monitoreo de los bosques en la Amazonía peruana mediante el uso de la teledetección y SIG, desempeñado para el Instituto del Bien Común (IBC) en el marco del proyecto MapBiomias Amazonía de la RAISG, comprendió las siguientes actividades:

- Revisar y aplicar la metodología de MapBiomias Amazonía para la elaboración de los mapas anuales de cobertura y uso de la cuenca amazónica de Perú, según el cronograma de trabajo establecido para el proyecto, en las colecciones 1 y 2.
- Aportar con mejoras metodológicas en las etapas que lo requieran.
- Construir los mosaicos de imágenes satelitales Landsat para el periodo 1985 – 2018, según acuerdos y protocolos establecidos para las colecciones del proyecto.
- Asistir en la capacitación al equipo de validación y en la generación de estadísticas de deforestación de la cuenca amazónica del Perú según metodología de la RAISG.
- Convocar, facilitar y registrar las reuniones técnicas semanales del equipo IBC y participar de las reuniones técnicas regionales semanales acordadas con anticipación.
- Revisar los resultados, productos y sub-productos, de las colecciones producidas después de su publicación en la plataforma web MapBiomias Amazonía.

- Organizar y participar de los talleres técnicos para difundir la plataforma y los mapas de la colección 1.0 y 2.0, según los acuerdos institucionales.
- Apoyar al área de Ordenamiento Territorial del IBC, en la sistematización de información del SICNA y en salidas de campo en la Amazonía peruana.
- Apoyar en la sistematización de los resultados obtenidos y elaborar informes detallados.

## **2.2. Nombre del proyecto desarrollado**

El documento “MAPEO ANUAL DE LA COBERTURA Y EL USO DEL SUELO DE LA PAN-AMAZONÍA PARA EL MONITOREO DEL BOSQUE” tiene por finalidad describir la experiencia de mapeo anual de coberturas y usos del suelo en la Pan-Amazonía, como parte del equipo técnico de la Colección 2 del proyecto MapBiomás Amazonía, una iniciativa de la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG).

El documento presenta, además, un caso de aplicación de los productos de MapBiomás Amazonía en el monitoreo del bosque, enfocado a la estimación de la edad de la vegetación secundaria. Asimismo, se mencionan algunos de los logros y los desafíos que se prevén a futuro para el proyecto, que actualmente ya se encuentra en la tercera edición (Colección 3) de mapas anuales de cobertura y uso del suelo, con miras a su lanzamiento en 2021.

## **2.3. Resultados obtenidos**

El proyecto MapBiomás Amazonía lanzó su primera colección de mapas (Colección 1) el 21 de marzo de 2019. El producto inaugural comprendió mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía (2000 – 2017), elaborados por los equipos técnicos de los países miembros de la RAISG. Este mapeo incorpora el territorio amazónico desde la vertiente atlántica de los Andes, pasando por la planicie amazónica y llegando hasta las transiciones con los biomas del Cerrado y el Pantanal.

Los resultados obtenidos en la Colección 1 indicaron que al finalizar el período 2000 - 2017, a pesar de mantener 85% de cobertura de bosques nativos, la Pan-Amazonía perdió 29.5 millones de hectáreas; una superficie equivalente al territorio del Ecuador. Además, durante este mismo período hubo un incremento del 41% de áreas de uso agropecuario.



*Figura 2. Evento del lanzamiento de la Colección 1 MapBiomás Amazonía. Panel de expertos conformado por un representante del equipo técnico de cada país. Fuente: Instituto del Bien Común.*

El 02 de julio de 2020, el lanzamiento de la Colección 2 marcó la transición de un enfoque metodológico basado en árboles de decisión empíricos empleado en la Colección 1, hacia la aplicación del clasificador de *machine learning* “*random forest*”. Además, proporciona más de 3 décadas de historia de la cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía en mapas anuales de 1985 a 2018 con una resolución de 30 metros.

Los resultados de la Colección 2 muestran que la Pan-Amazonía al 2018 mantiene el 83.4% de su cobertura vegetal natural. Entre los años 1985 y 2018, se perdió 72.5 millones de hectáreas de la cobertura vegetal natural (conformados por 69.3 millones de hectáreas de bosques y 3.2 millones de hectáreas de formaciones naturales no forestales), un área equivalente al territorio de Chile. Asimismo, los resultados mostraron un crecimiento de

172% de los usos agropecuarios dentro del territorio (pasó de representar el 5% en 1985 al 13% de la superficie total en 2018).



Figura 3. Portada de lanzamiento virtual de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía desde la plataforma de Youtube el 02 de julio del 2020.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=XXaGBvEnDYA>

Como parte de los productos generados, el proyecto cuenta con una plataforma web de consulta pública ([www.amazonia.mapbiomas.org](http://www.amazonia.mapbiomas.org)) que permite descargar los mapas anuales, las estadísticas de cobertura y uso anual, las estadísticas de transición y gráficos filtrados según la unidad (Pan-Amazonía, biomas, países, departamentos, distritos, cuencas, territorios indígenas o unidades de conservación) y el periodo (anual, quinquenal, total) de interés del usuario.

Mayor detalle sobre los resultados se presentan en el apartado “Resultados de la experiencia” del capítulo III.

## **CAPITULO II. Fundamento teórico**

Este capítulo presenta la revisión de literatura relacionada con el tema del proyecto de mapeo anual de coberturas y usos del suelo de la Pan-Amazonía. Además, se detalla parte de la metodología utilizada por la iniciativa MapBiomás Amazonía para dicho fin y la metodología aplicada para el caso práctico de monitoreo de la vegetación secundaria con los mapas del proyecto.

### **1. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **1.1. La región Pan-Amazónica**

La Amazonia o Pan-Amazonía es un territorio que comparten ocho países, tiene una extensión aproximada de 7,4 millones de km<sup>2</sup> (5% del área continental mundial) y es uno de los principales reservorios de carbono del planeta, y uno de los territorios con mayor biodiversidad. (CEPAL y Patrimonio Natural, 2013).

La importancia de la región Pan-Amazónica en el contexto mundial consiste en su capacidad para regular el clima regional; la zona mantiene grandes extensiones de selva tropical húmeda virgen y las condiciones climáticas estables ante el cambio climático (Killeen et al., 2007).

Para fines de este documento, el límite Pan-Amazonía utilizado por la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) comprende el límite biogeográfico de Colombia (42% del país), Venezuela (51%), Guyana (100%), Guyana Francesa (100%), Surinam (100%); el límite de cuenca amazónica de Bolivia (65%), Perú (75%) y Ecuador (53%) y un adicional de límites administrativos en Brasil (61% del país). (RAISG, 2019)

#### **1.2. Cambio de cobertura y uso del suelo**

Tal como señalan Vitousek et al. (1997), el uso de la tierra para proveer bienes y servicios representa la principal alteración humana a la tierra. Los cambios de cobertura y uso del suelo amenazan a la diversidad biológica, contribuyen al cambio climático, degradan el suelo y alteran el funcionamiento y los servicios ecosistémicos. Entre las causas de cambio en la

cobertura vegetal, es posible identificar principalmente actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la tala y la minería (Cárdenas, 2005).

### **1.3. Teledetección**

Chuvieco (1991) señala que la teledetección espacial es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia.

El uso de la teledetección a través de imágenes de satélite, facilita la elaboración de mapas temáticos que denotan el estado de los recursos agrícolas y forestales. Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar los tipos de vegetación, su estado y el nivel de protección del suelo. A partir de estos datos es posible obtener la superficie cultivada o arbolada e incluso identificar las especies vegetales (Aulló, 2014).

### **1.4. Procesamiento de imágenes de satélite**

De acuerdo con Sanjurjo y Kalliola (2004), el procesamiento de imágenes es el conjunto de procedimientos para manipular las imágenes digitales a través de la ejecución de diversas técnicas y operaciones de clasificación, facilitando su análisis e interpretación. La interpretación puede realizarse mediante análisis visual o mediante clasificaciones digitales.

Según Lillesand et al. (2015), en aplicaciones donde los patrones espectrales contienen mucha información es preferible optar por una clasificación digital. Esto también permite automatizar procesos, generando amplios beneficios en términos de costos, tiempo y personal.

#### **1.4.1. Imágenes de satélite Landsat**

El programa Landsat constituye una serie de misiones de satélites de observación de la Tierra gestionados conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio (Ariza, 2013). Sus imágenes multiespectrales cubren un área aproximada de 170 km x 183 km, con una

resolución espacial de 30 m y periodos de revisita de 16 días. Las características espectrales de cada satélite utilizado para este proyecto (Landsat 5, 7 y 8) se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Características espectrales de las imágenes de satélite Landsat utilizadas en el proyecto MapBiomás Amazonía.

		Número de satélite Landsat		
		Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
Sensor		TM	ETM+	OLI / TIRS
<b>Longitud de onda (um)</b>	Banda 1	0.45 – 0.52	0.45 – 0.52	0.435 – 0.451
	Banda 2	0.52 – 0.60	0.53 – 0.61	0.452 – 0.512
	Banda 3	0.63 – 0.69	0.63 – 0.69	0.533 – 0.590
	Banda 4	0.76 – 0.90	0.78 – 0.90	0.636 – 0.673
	Banda 5	1.55 – 1.75	1.55 – 1.75	0.851 – 0.879
	Banda 6	10.4 – 12.5	10.4 – 12.5	1.566 – 1.651
	Banda 7	2.08 – 2.35	2.09 – 2.35	2.107 – 2.294
	Banda 8	No existe	0.52 – 0.90	0.503 – 0.676
	Banda 9	No existe	No existe	1.363 – 1.384
	Banda 10	No existe	No existe	10.60 – 11.19
	Banda 11	No existe	No existe	11.50 – 12.51

#### 1.4.2. Clasificación con *machine learning Random Forest*

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación digital en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo con la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco, 1991).

*Random forest* es un algoritmo de clasificación supervisada basado en *machine learning* que aprovecha el poder de múltiples árboles de decisión y que reporta tener valores elevados de precisión, inclusive frente a escenarios complejos de heterogeneidad. La base conceptual de *Random Forest* radica en el uso de datos de entrenamiento para construir múltiples árboles de decisión a partir de los cuales se asigna una clase a cada píxel. (Tumer y Ghosh, 1996; Breiman, 2001)

### **1.4.3. Exactitud y precisión temática**

La exactitud es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica, representado comúnmente por el índice Kappa; mientras que la precisión es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica, y se representa frecuentemente con una matriz de confusión o de error (MINAM, 2014).

El uso de los índices Kappa se ha convertido en parte de la cultura en la teledetección y otros campos. Sin embargo, Pontius Jr. & Millones (2011) luego de examinar cinco índices Kappa diferentes, concluyen que para fines de evaluación de precisión y comparación de mapas resulta más útil y efectivo utilizar los parámetros de discrepancia de área y discrepancia de asignación. La discrepancia de área mide la fracción del error atribuido a la cantidad de área asignada incorrectamente a las clases por el mapeo, mientras que la discrepancia de asignación a la proporción de errores de desplazamiento.

La validación de los mapas de la Colección 2 emplea una muestra de datos al azar para evaluar la consistencia del mapa a través de una matriz de confusión, el porcentaje de discrepancia de área y el porcentaje de discrepancia de asignación.

### **1.4.4. Google Earth Engine: procesamiento en la nube**

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de procesamiento geoespacial, a escala petabyte, que ejecuta sus procesos en la nube y de manera gratuita. Fue desarrollada por Google Labs y lanzada durante la Conferencia Internacional sobre Cambio Climático en Cancún, México, del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010 (Gorelick et al., 2017).

El catálogo público de GEE es una colección de datos geoespaciales (imágenes de sensores ópticos, radar, meteorológicos, así como datos de cobertura terrestre, ambientales, geofísicos y socioeconómicos). Reúne más de 40 años de imágenes satelitales, proporciona las herramientas y la potencia computacional necesarias para analizar y explorar el vasto almacenamiento de datos como imágenes de diferentes sensores y satélites integrados. Las aplicaciones actuales incluyen: detección de deforestación, clasificación de cobertura

terrestre y cambios de cobertura terrestre, estimación de biomasa forestal y carbono, así como mapeo de áreas sin carreteras en el mundo (Gregory et al., 2015).

La metodología de MapBiomás está basada enteramente en tecnología de Google para: i) procesar imágenes satelitales en infraestructura computacional en la nube, ii) desarrollar códigos (scripts) en Javascript y Python, iii) almacenar los datos generados, y iv) desplegar los resultados (mosaicos, mapas anuales de uso del suelo, análisis de transición, estadísticas por clase y por transición, información metodológica, entre otros) a través de una plataforma web de consulta pública.

### **1.5. Otras iniciativas de mapeo de la cobertura y uso del suelo**

En las últimas dos décadas, los avances tecnológicos y las iniciativas globales y regionales han permitido desarrollar diversas herramientas para el mapeo de las coberturas y de los cambios de uso del suelo. Entre ellas podemos mencionar:

- *Intact Forest Landscapes* (2005). Una base de datos espacial global de los paisajes forestales intactos para los años 2000, 2013 y 2016. Desarrollado por Greenpeace, Biodiversity Conservation Center, International Socio-Ecological Union, Transparent World, Global Forest Watch, University of Maryland y Wildlife Conservation Society.
- *Global Forest Watch* (2014). El proyecto de mayor alcance de usuarios actualmente para la estimación de pérdida anual de cobertura arbórea desde el año 2000, en todo el mundo, a partir de imágenes Landsat. Fue lanzado en 2014 y realizado por una colaboración entre World Resources Institute, el laboratorio de GLAD de la Universidad de Maryland, Google, USGS y NASA.
- *European Spatial Agency – Climate Change Initiative* (2009). Pone a disposición mapas anuales de cobertura terrestre, que describen la superficie de la tierra en 22 clases, que abarcan el período desde 1992 a 2018.
- *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean* (2003). Proyecto desarrollado por Nature Serve y sus programas miembros, con fondos de The Nature

Conservancy, logrando una clasificación de los sistemas ecológicos de Latinoamérica y El Caribe.

- Ecosistemas de Los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. (2009). Una iniciativa de mapeo de ecosistemas llevada a cabo por la Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA y CDC-UNALM.
- Monitoreo de la Cobertura Forestal en la Región Amazónica. Una iniciativa de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) para el desarrollo e implementación de sistemas integrados de monitoreo de la cobertura forestal. Cuenta con mapas regionales de deforestación para los períodos 2000 - 2010, 2010 - 2012, 2013 - 2014 y 2014 – 2015.

En cuanto a las iniciativas de mapeo de cobertura y uso del suelo a nivel nacional, para el caso de Perú; creado por Decreto Supremo N°008-2010-MINAM, el Programa Nacional de Conservación de Bosques y Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC) es la iniciativa más reconocida y difundida a nivel nacional para el monitoreo del bosque.

De acuerdo con Geobosques, la información del monitoreo de los bosques está articulada al Módulo de Monitoreo de la Cobertura de Bosques (MMCB), el cual se encuentra bajo la coordinación del Ministerio del Ambiente en forma colaborativa con el SERFOR y que constituye parte del SNIFFS y del SINIA, como lo indica el Decreto Legislativo N° 1220 del 2015. Este cuenta con 5 sub-módulos, dentro de los cuales se encuentra el Submódulo de Uso y cambio de uso de la Amazonía peruana, con datos para los años 2000, 2005, 2011, 2013 y 2016; y el sub-módulo de Bosques y pérdida (deforestación) que a la fecha dispone de datos para el período 2000 – 2018.

Asimismo, son muchas las metodologías e iniciativas nacionales de enfoque local o regional que se han desarrollado en los últimos años (IIAP, 2017; CDC-UNALM, 2012; Witting, 2019; Tarrillo, 2019; Quipuscoa et al., 2019; Gamarra, 2017); muchas de ellas, resultado de la comunidad científica y académica de universidades públicas.

## 2. METODOLOGÍA MAPBIOMAS AMAZONÍA – COLECCIÓN 2

La Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía está compuesta por un set de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía para el período 1985 - 2018.

La información proporcionada en esta sección es un resumen de los pasos relevantes de la metodología (Figura 4). La descripción a detalle de todos los métodos aplicados para producir esta colección de mapas se encuentra disponible en el documento metodológico oficial del proyecto<sup>2</sup>.



Figura 4. Flujograma metodológico de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía, desarrollado desde la plataforma de programación en la nube de Google Earth Engine.

Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía (2020)

Para el procesamiento y análisis de los datos se trabajó con los equipos portátiles disponibles por cada miembro del equipo técnico. Cabe resaltar que ninguno de los pasos presentó fuertes demandas de memoria o procesador debido a que las tareas se llevaron a cabo con el sistema de ordenadores en la nube de Google.

---

<sup>2</sup> Documento metodológico general de MapBiomias Amazonía <http://amazonia.mapbiomas.org/atbd-general>

Los algoritmos de procesamiento fueron implementados desde la plataforma en la nube de Google Earth Engine y algunos geoprosesos de las capas de referencia se trabajaron desde el programa QGis 3.14., también de instalación y uso gratuitos.

## 2.1. Recopilación de información cartográfica

La información cartográfica de referencia fue variada de acuerdo a su disponibilidad en cada país. Se recopiló información de otras iniciativas nacionales y globales que pudieran brindar una guía en el mapeo de coberturas y usos anuales. Mapas de ecosistemas, cobertura, usos, fisiografía, deforestación, entre otros, fueron claves para la obtención de buenos resultados en este proyecto. Para el caso particular de Perú, la información de referencia recopilada se muestra en la tabla 2.

*Tabla 2. Información cartográfica de referencia recopilada para el ámbito de Perú en el marco del proyecto MapBiomias Amazonía.*

Mapa	Referencia	Descripción	Escala Publicación
Mapa Fisiográfico del Perú	INRENA, 2002	Considera una extensión amazónica de 777 620.19 km <sup>2</sup> y una leyenda de 21 clases	1:250,000
Mapa de Vegetación Natural Remanente de los Andes del Norte y Centro	CAN, 2009	Unidades de vegetación natural remanente, áreas transformadas, así como las áreas naturales protegidas a nivel país de los Andes del Norte y Centro.	1:4'100,000
Mapa de humedales del Perú	MINAM, 2010	Distribución de los humedales en el Perú comprendido por 4 grandes unidades. 1) Aguajales y pantanos, 2) Manglares, 3) Bofedales y 4) Humedales costeros.	1:1'000,000
Mapa del Patrimonio Forestal Nacional	MINAM, 2010	Elaborado por la Dirección de Evaluación, Valoración y financiamiento del patrimonio natural y la Dirección General de Ordenamiento Territorial.	1:2'000,000
Mapa de cobertura vegetal	MINAM, 2015	Considera una leyenda de 76 clases	1:100,000
Bosque – No bosque y Pérdida de bosque húmedo amazónico 2000 – 2018	MINAM	Archivo digital espacial de la plataforma Geobosques. Extensión amazónica de 783,088 km <sup>2</sup> y leyenda de 4 clases.	
Uso y Cambio de Uso 2000-2005, 2005-2011, 2011-2013, 2013-2016	MINAM	Archivo digital espacial de la plataforma Geobosques. Utiliza la clasificación del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).	
Mapa Nacional de Ecosistemas	MINAM, 2019	Contribuye con el cumplimiento de la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica al 2021 y el Plan Estratégico Sectorial Multianual del sector ambiente 2017-2020	1:2'200,000

*Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía – Apéndice Perú (2020)*

## 2.2. Selección de imágenes y generación de mosaicos anuales

Se utilizó imágenes de la serie de satélites Landsat (resolución espacial de 30 metros) para el periodo 1985 - 2018. La plataforma de Google Earth Engine (GEE) proporciona imágenes pre procesadas con diversas características. Para este proyecto se utilizó imágenes de reflectancia de superficie del catálogo de datos Landsat con nivel de procesamiento L1TP, las cuales ya cuentan con corrección atmosférica y orto-rectificación basada en puntos de control en tierra y modelos de elevación digital. Además, incluyen atributos de calidad de píxel como máscaras de nube, sombra, agua y nieve.

Cada mosaico anual resultó de la aplicación del reductor ‘mediana’ a los píxeles de un conjunto de imágenes Landsat definido por los parámetros de: periodo (fechas inicial y final), sensor y cobertura de nubes, dentro del área de trabajo. Cabe resaltar que, para garantizar la eficiencia de este paso, los mosaicos fueron generados con base en la intersección entre la grilla de Cartas Internacionales Millonésimas (1°30’ de longitud por 1° de latitud) y los límites de bioma creados por cada país. Estos límites (Figura 5) fueron elaborados considerando la variabilidad climática y topográfica del territorio, apoyándose en la consulta de la información cartográfica de referencia recopilada por país.

Los biomas fueron claves en la asignación de periodos de selección de imágenes por año. Por ejemplo, mientras que el bioma andino peruano presentó mejores imágenes en el periodo abril – setiembre, el bioma amazónico utilizó imágenes entre los meses de agosto y noviembre, con una ventana móvil hacia los meses de mayo – julio en casos particulares de bosques de montaña o bosques nublados.

Con el objetivo de obtener la menor cantidad posible de ruidos en las imágenes, las nubes y sombras de nubes fueron enmascaradas antes de calcular la mediana. Los métodos de enmascaramiento de nubes y sombra de nubes fueron el *Cfmask* y *CloudScore*. Asimismo, se contó con un algoritmo denominado *blacklist* que permitió excluir imágenes dentro del periodo seleccionado que, debido a su baja calidad, pudiesen afectar negativamente la mediana.

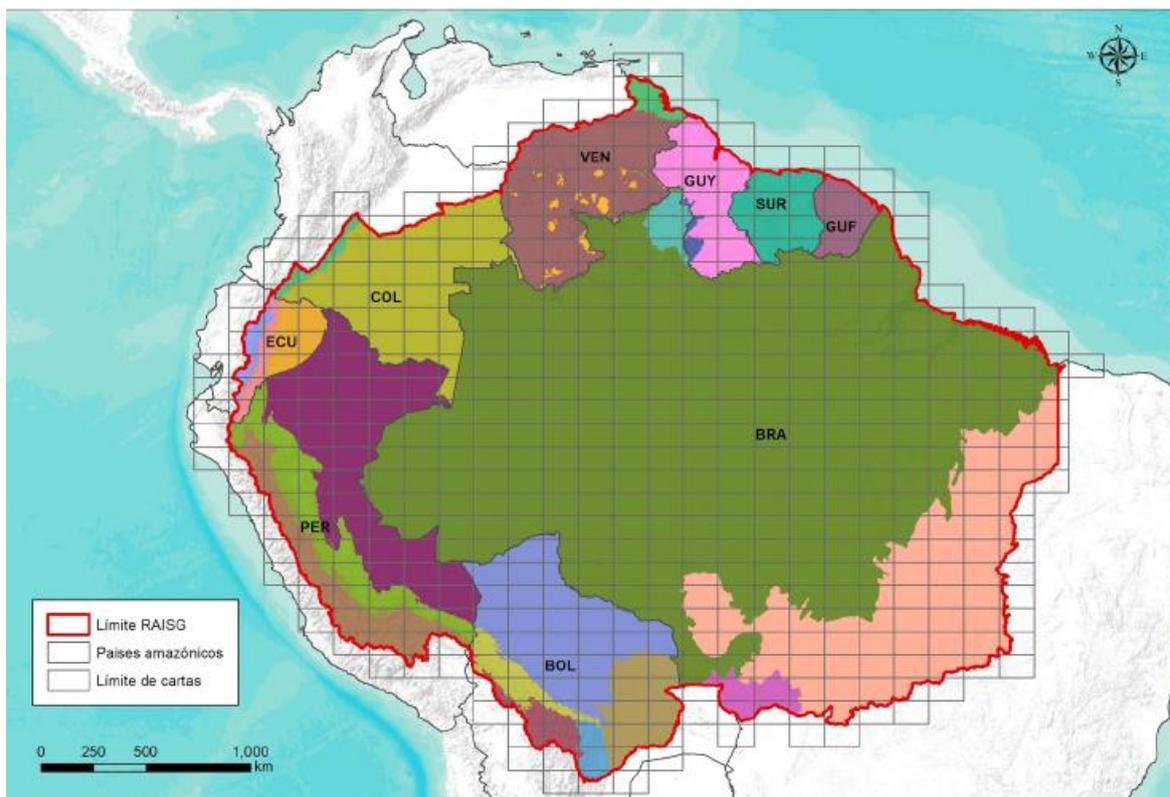


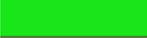
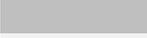
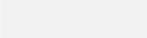
Figura 5. Mapa de biomas para generación de mosaicos de la Colección 2 MapBiomias Amazonía  
 Nota: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), GUF (Guayana Francesa), GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 2 MapBiomias Amazonía. Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía (2020)

### 2.3. Leyenda

La leyenda utilizada en la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía se muestra en la tabla 3. Si bien el listado de clases posibles y los nombres asignados ya estaban definidos por la iniciativa MapBiomias Brasil; la estandarización de las descripciones de cada clase fue un paso clave para la decisión de clases a mapear.

Se consultó sistemas de clasificación referenciales como los de FAO, IBGE, Corine Land Cover, entre otros, de acuerdo a las fuentes disponibles para cada país. Con ello y el conocimiento de las limitaciones metodológicas, la Colección 2 presenta 12 clases (entre usos y coberturas) del nivel más detallado de clasificación de la leyenda MapBiomias. Un alcance sobre las claves de interpretación de cada clase se adjunta en los anexos de este documento.

Tabla 3. Leyenda de clases de cobertura y uso del suelo de la Colección 2 MapBiomias Amazonía.

ID	NIVEL	CLASE	TIPO	COLOR
1	1.	Bosque	Cobertura	
3	1.1.	Formación forestal	Cobertura	
4	1.2.	Formación sabánica	Cobertura	
5	1.3.	Manglar	Cobertura	
6	1.4.	Bosque Inundable	Cobertura	
10	2.	Formación Natural No Forestal	Cobertura	
11	2.1.	Formación Natural No Forestal Inundable	Cobertura	
12	2.2.	Formación Campestre	Cobertura	
13	2.3.	Otra Formación Natural No Forestal	Cobertura	
14	3.	Uso agropecuario	Uso	
21	3.3.	Mosaico de Agricultura y/o Pasto	Uso	
22	4.	Área sin Vegetación	Cobertura / Uso	
25	4.3.	Otra Área sin Vegetación	Cobertura/Uso	
26	5.	Cuerpo de agua	Cobertura	
33	5.1.	Río, Lago u Océano	Cobertura	
31	5.3.	Glaciar	Cobertura	
27	6.	No Observado		

Nota: La descripción de cada clase puede ser consultada en el documento metodológico oficial del proyecto. Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía (2020)

## 2.4. Clasificación

Para efectos de facilitar el mapeo de la diversidad de paisajes comprendidos en la Pan-Amazonía, la colección 2 delimita 93 regiones de clasificación (Figura 6). En la primera experiencia (Colección 1) el proceso de clasificación utilizó las mismas áreas de trabajo con las que se generaron los mosaicos, ocasionando inconsistencias en la continuidad de la clasificación por cartas.

El proceso de clasificación presentó diferencias entre colecciones, no solo a escala de áreas de trabajo sino también respecto al set de variables utilizado y el algoritmo clasificador. Mientras que en la primera colección se utilizó árboles de decisión empíricos, la colección 2 aplica el algoritmo clasificador de *Random Forest*.

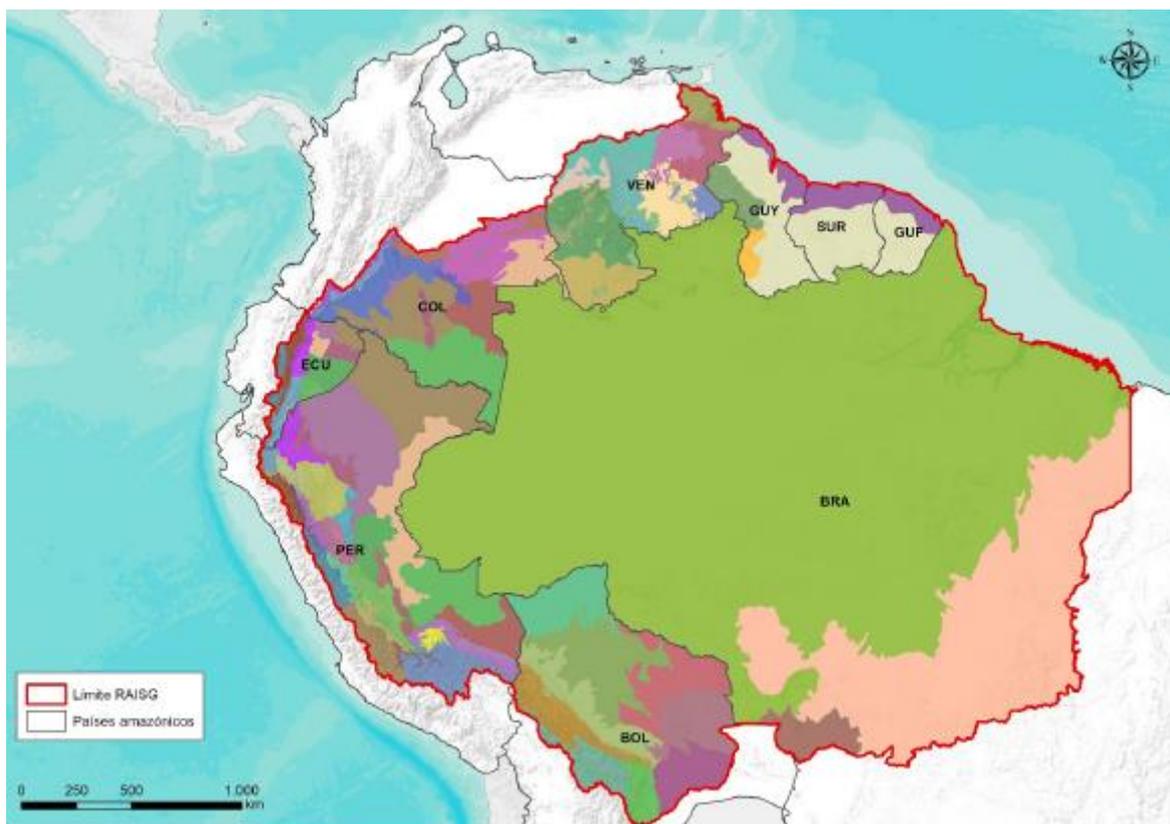


Figura 6. Mapa de regiones de clasificación de la Colección 2 MapBiomias Amazonía  
 Nota: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), GUF (Guayana Francesa), GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 2 MapBiomias Amazonía. Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía (2020)

El algoritmo *Random Forest* forma parte del paquete de clasificadores de *machine learning* disponibles en la plataforma GEE, y fue utilizado para una clasificación píxel a píxel.

Los parámetros que *Random Forest* requiere son: un número definido de árboles de decisión, una lista de variables/bandas de clasificación y un conjunto de muestras de entrenamiento. El número de árboles varió según las necesidades y características de cada región de clasificación. Las variables utilizadas<sup>3</sup> sumaron un total de 81 y fueron el resultado de la combinación de bandas (bandas espectrales, índices espectrales, información fraccional y derivados de elevación) y reductores (mediana, amplitud, desviación estándar, mínimo, máximo, percentiles). En cuanto a las muestras de entrenamiento, estas fueron obtenidas de

---

<sup>3</sup> La lista completa de variables puede ser consultada en el Documento Metodológico de MapBiomias Amazonía Colección 2.

la Colección 1 del proyecto. Se extrajeron los píxeles que presentaron estabilidad para los 18 años de mapeo de dicha colección (2000 – 2017) y fueron utilizados como muestras para cada clase en la nueva colección de 34 mapas (1985 – 2018), considerando la exclusión de algunos que para el nuevo periodo de análisis hubiesen dejado de ser estables.

## **2.5. Post clasificación**

El resultado preliminar de clasificación fue sometido a una secuencia de filtros con el propósito de reducir inconsistencias temporales, reducir ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo y llenar vacíos de información.

El proceso de post clasificación inició con la aplicación de un filtro temporal, seguido por un filtro espacial y terminando con un relleno de vacíos. Alternativamente, los países aplicaron filtros de frecuencia (para inconsistencias entre dos clases naturales) e incidencia (para inconsistencias en píxeles de borde). Todos los filtros fueron implementados desde la plataforma de GEE, empleando programación en Javascript y Python.

Los resultados obtenidos a nivel de regiones de clasificación fueron integrados como un único mapa por cada año de análisis. Las reglas de prevalencia u orden de integración fueron utilizadas para casos de superposición de datos, considerando que algunas clases debieron ser trabajadas como mapas binarios independientes. A mayor prioridad, la capa era superpuesta a las demás.

## **2.6. Exactitud temática**

La validación de los mapas obtenidos empleó la herramienta de Inspección Visual Temporal (TVI) desarrollada por el Laboratorio de Procesamiento de Imágenes y Geoprocusamiento de la Universidad Federal de Goiás (LAPIG - UFG). Esta herramienta en línea (Figura 7), de código abierto, optimiza la inspección de puntos en series históricas de imágenes Landsat. Provee de apoyo visual al intérprete utilizando mapas base de alta resolución de Google Earth e imágenes Landsat de las temporadas seca y húmeda del área trabajada (Nogueira et al., 2017).

La labor de evaluación por año y país estuvo a cargo del equipo de la Sala de Observación Perú - Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, conformada además por estudiantes y egresados de la facultad. La validación involucró la evaluación visual de una muestra de aproximadamente 75,000 puntos, cada uno de ellos revisado por 3 intérpretes. Mientras que los métodos estadísticos fueron desarrollados y ejecutados enteramente por el personal de LAPIG.

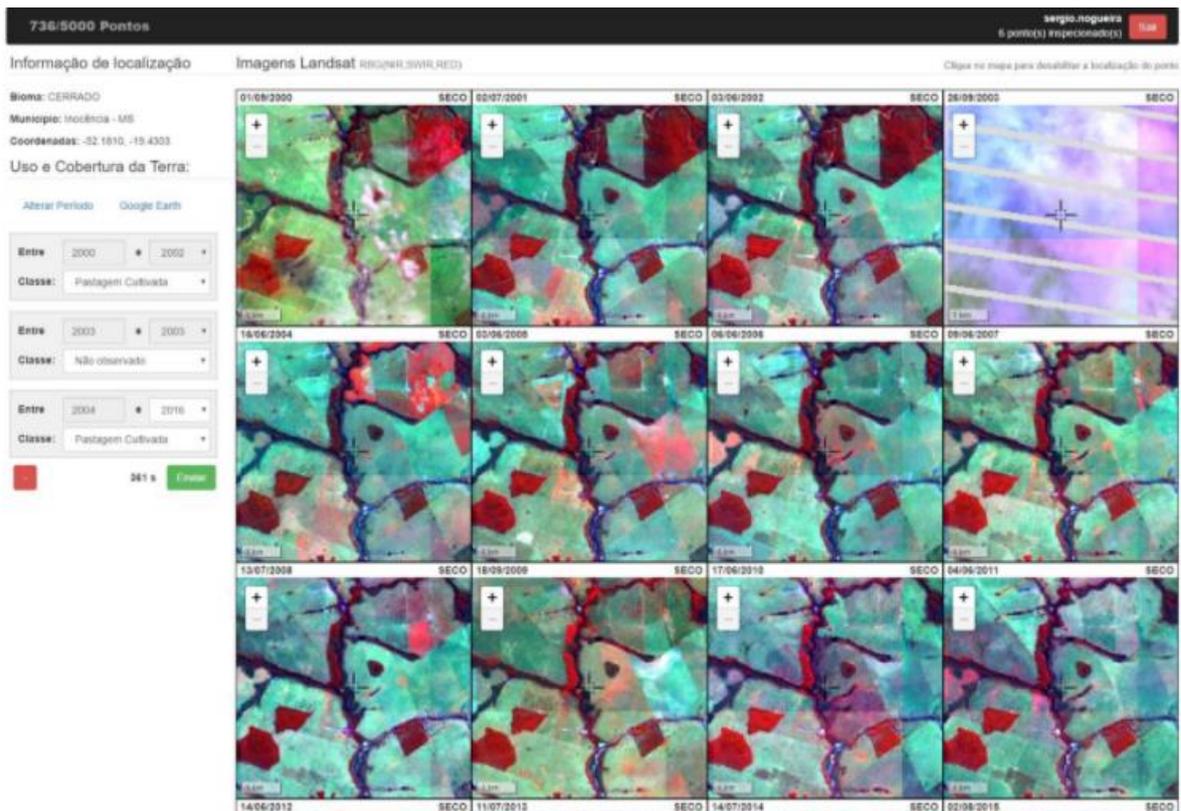


Figura 7. Interfaz de la herramienta TVI (Temporal Visual Inspection) desarrollada por el Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG).  
Fuente: Nogueira et al. (2017)

Los datos de interpretación se plasmaron en una matriz de confusión que permitió generar estadísticas de precisión del usuario (error de comisión), precisión del productor (error de omisión) y precisión global (error total). Esta precisión global, aplicando la metodología de Pontius Jr. & Millones (2011), generó valores de exactitud a través de porcentajes de discrepancia de área y de discrepancia de asignación.

## **2.7. Mapas de transición y estadísticas**

Las transiciones representan mapas de cambio de uso del suelo disponibles en la plataforma de MapBiomás Amazonía. Las transiciones son calculadas entre píxeles para diferentes periodos: años consecutivos, quinquenios y periodo completo de análisis. Las estadísticas zonales de las clases mapeadas se calcularon para diferentes unidades espaciales, como: Pan-Amazonía, bioma, país, departamento, distrito, cuenca, territorio indígena y unidad de conservación.

## **3. METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA VEGETACIÓN SECUNDARIA CON MAPBIOMAS**

Desde hace más de cuatro décadas se viene hablando sobre la importancia creciente de la vegetación secundaria en los trópicos americanos (Budowski 1961; Gómez-Pompa y Vásquez-Yanes 1974, Gómez-Pompa et al. 1979; citado por Smith et al., 1997) y la tendencia de las especies de rápido crecimiento y baja densidad de madera que prosperan para constituirse en el “recurso maderable del futuro”.

Autores (Meneses, 2009; Wadsworth, 2000) definen como vegetación secundaria aquella que se presenta donde hubo sustitución de la comunidad vegetal original y posteriormente su recuperación se hace evidente. Smith et al. (1997) identifican como causa más común de la formación de la vegetación secundaria a la actividad agrícola y ganadera. Estas se abren paso luego de la tala y la quema de bosques, para luego ser abandonadas por su baja productividad, originando las purmas y bosques secundarios (Ríos, 1990).

Este apartado presenta una metodología para la estimación de la edad de la vegetación secundaria, utilizando de insumo los mapas resultantes del proyecto MapBiomás Amazonía. El caso práctico describe una adaptación de la metodología original elaborada por Silva et al. (2020) (Figura 8), implementada para el departamento de Madre de Dios. Este caso práctico busca analizar el incremento, la pérdida y la estimación de la edad de la vegetación secundaria en Madre de Dios a lo largo de un periodo de 30 años (1989 – 2018).

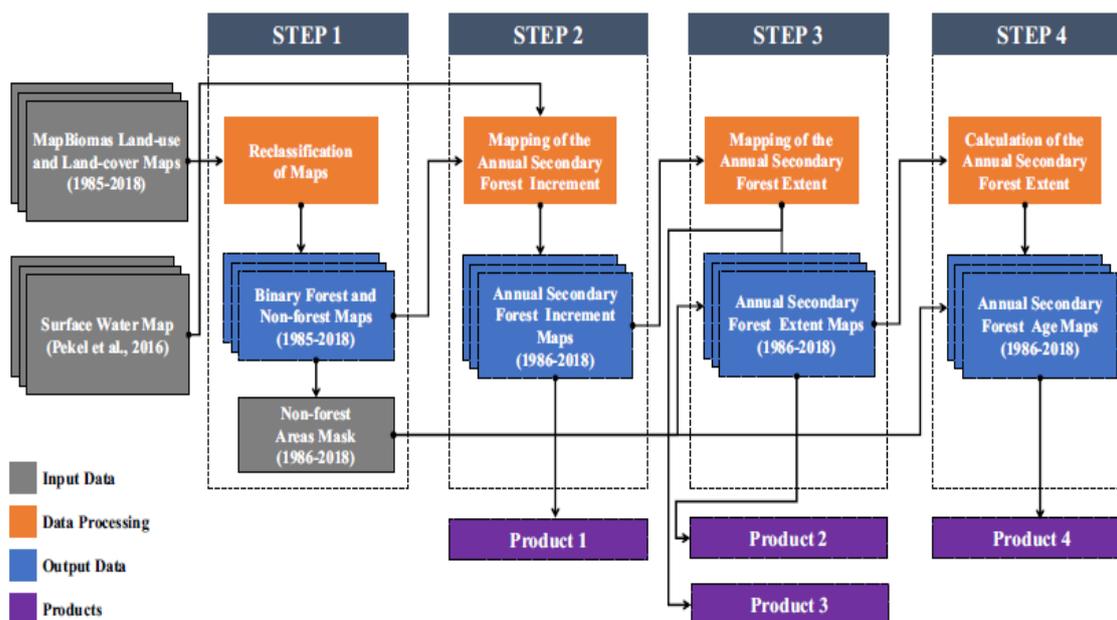


Figura 8. Flujograma metodológico para la estimación de la edad de la vegetación secundaria. Fuente: Silva et al (2020).

### 3.1. Paso 1. Reclassificación anual de “bosque” y “no bosque”

Por medio de códigos de programación en Google Earth Engine, los mapas anuales de cobertura y uso del suelo del proyecto MapBiomass Amazonía fueron reclasificados en mapas binarios. Se le asignó el valor 1 a los píxeles clasificados como “bosque” y valor 0 al resto de clases de la leyenda. Con el objetivo de eliminar el efecto de la dinámica de meandros fluviales, se utilizó como máscara la capa de extensión máxima de agua del *Global Surface Water Explorer* de la Comisión Europea. Así, se excluyeron los datos que en los últimos 30 años pudieron clasificarse como agua.

### 3.2. Paso 2. Cálculo del incremento anual de vegetación secundaria

Utilizando los mapas reclasificados del paso 1, se generó un set de treinta mapas binarios de incremento anual de vegetación secundaria; considerando como incremento la transición anual de “no bosque” (valor 0) a “bosque” (valor 1). Los mapas de incremento inician con la transición entre los años 1987 y 1988, para obtener como primer dato de incremento el correspondiente al año 1988. Cada transición de incremento (“no bosque” a “bosque”) recibió un valor de 1 y todas las otras transiciones (“no bosque” a “no bosque”, “bosque” a “bosque” y “bosque” a “no bosque”) un valor de 0.

### **3.3. Paso 3. Cálculo de la extensión anual y pérdida de vegetación secundaria**

Los mapas de extensión anual se construyeron mediante la suma del incremento en el año de interés y su precedente. Los mapas de extensión anual inician en el año 1989, ya que se suman los mapas de incremento de 1988 y 1989. Con el objetivo de seguir utilizando datos binarios, los resultados de las sumas continuas de capas (píxeles con valores mayores a 1) fueron reclasificados; reasignando el valor 1 a los píxeles con valores entre 2 y 30; y aquellos con valor 0 permanecieron sin cambio.

Cabe resalta que, para obtener una extensión neta anual, fue necesario extraer todos aquellos píxeles que presentaron deforestación (pérdida) en cada año. Para ello se multiplicó el mapa resultante de las sumas, por el mapa anual de cobertura de bosque del mismo año (paso 1). Este procedimiento se aplicó año por año y los píxeles extraídos como pérdida de vegetación secundaria anual también conforman uno de los set de mapas obtenidos a partir del script.

### **3.4. Paso 4. Estimación de la edad de la vegetación secundaria**

Debido al periodo de análisis seleccionado, los mapas de edad inician en 1989 y equivalen a un primer año de crecimiento de vegetación secundaria (igual a mapa de extensión anual de 1989). Así, el mapa al 2018 mostrará un rango de edades entre 1 y 30 años.

El proceso se fundamenta en la suma de mapas de extensión de años consecutivos. Año a año se continúa con la sumatoria hasta llegar al mapa de 2018, donde el valor de cada píxel corresponderá a la edad de la vegetación para ese año.

Al igual que en el paso 3, se extrajeron los píxeles deforestados por cada año. Esto garantiza que si un píxel de vegetación secundaria de cualquier edad es removido en un año determinado (pérdida), se le atribuye un valor de 0 a partir del cual se reinicia la cuenta de edad. Este reinicio en el conteo de años solo ocurrirá si el algoritmo detecta una transición entre la clase “no bosque” a “bosque” en el mapa del paso 1; el cual depende directamente del producto MapBiomias Amazonía.

## **CAPITULO III. Aportes y desarrollo de la experiencia**

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos tanto por el proyecto MapBiomias Amazonía, como por el caso práctico de monitoreo de la vegetación secundaria que utiliza sus productos como insumo. Asimismo, se mencionan los logros y desafíos del proyecto, además de su contribución en el desarrollo del profesional forestal.

### **1. RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA**

#### **1.1. Plataforma web MapBiomias Amazonía**

El 02 de julio de 2020, mediante una transmisión en vivo a través de las plataformas virtuales de Youtube y Facebook, se presentó al público los resultados de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía.

La Colección 2 puso a disposición pública más de 3 décadas de historia de la cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazonía en mapas anuales dentro del periodo 1985 - 2018 con una resolución espacial de 30 metros (Anexo 1). Estos productos, así como mosaicos de imágenes Landsat, gráficos y estadísticas, se pueden visualizar desde la plataforma web oficial del proyecto ([www.amazonia.mapbiomas.org](http://www.amazonia.mapbiomas.org)). La descarga de tablas y gráficos se puede realizar desde la misma plataforma web y la descarga de los archivos raster, con la herramienta GEE Toolkit.

La plataforma no solo hace posible visualizar los mapas anuales (Figura 9) a nivel regional, nacional e incluso local, identificando las áreas cubiertas con bosques, manglares, formaciones naturales no forestales, usos agropecuarios, cuerpos de agua, glaciares, entre otras clases; sino que, además, permite visualizar las transiciones (Figura 10) y generar gráficos y tablas según la unidad (Pan-Amazonía, biomas, países, departamentos, distritos, cuencas, territorios indígenas o unidades de conservación) y el periodo (anual, quinquenal, total) de interés del usuario.

Las estadísticas de exactitud se muestran en la plataforma para los diferentes niveles de detalle de leyenda, con posibilidad de obtener los datos por país. Considerando el nivel

mayor de detalle de la leyenda a escala Pan-Amazónica se obtuvo un 93.6% de precisión general, con 4.4% de discordancia de asignación y 2% de discordancia de área.

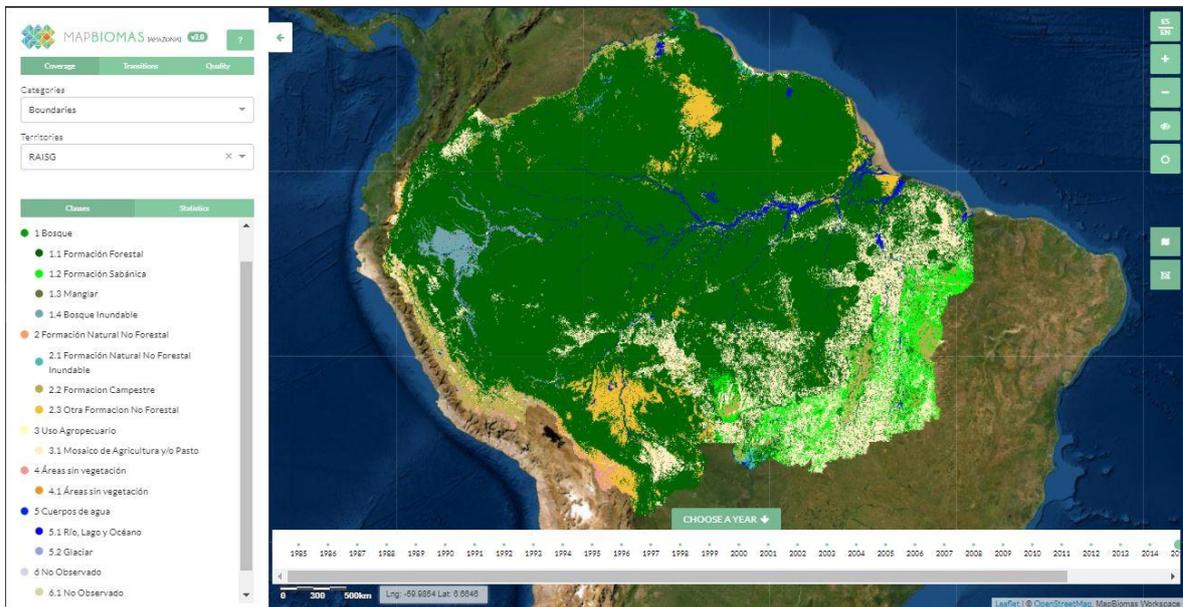


Figura 9. Interfaz de la plataforma web MapBiomias Amazonía para visualizar las coberturas y usos anuales de la Pan-Amazónica dentro del periodo 1985 – 2018, como resultado de la Colección 2 del proyecto. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

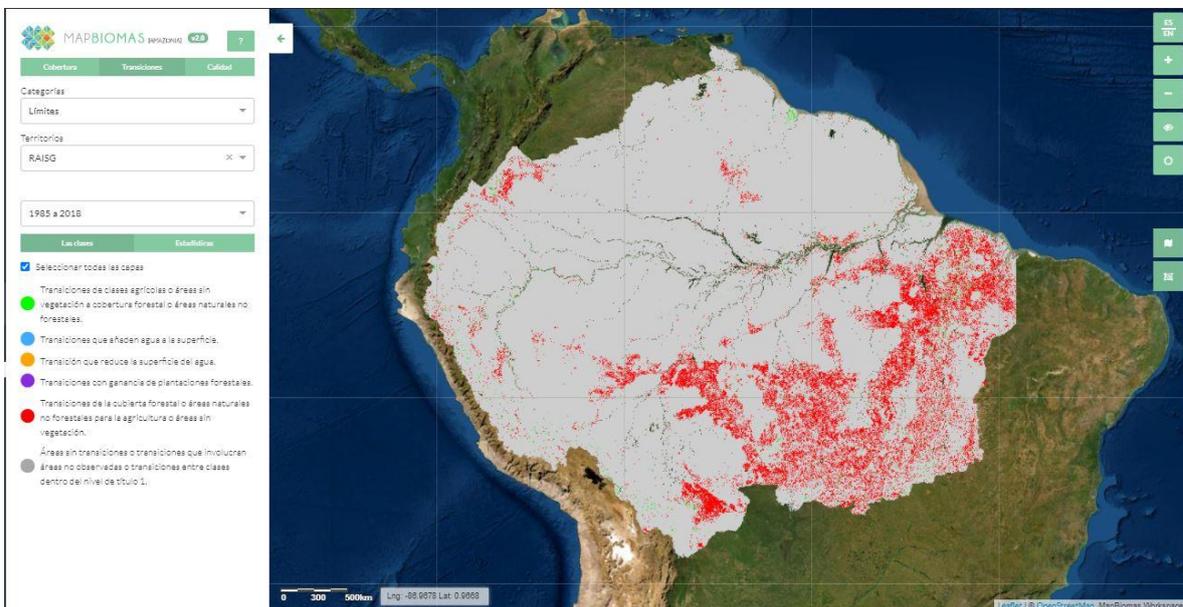


Figura 10. Interfaz de la plataforma web MapBiomias Amazonía para visualizar las transiciones/cambios de coberturas y usos anuales de la Pan-Amazónica dentro del periodo 1985 – 2018, como resultado de la Colección 2 del proyecto. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

## 1.2. Tendencias en la cobertura y el cambio de uso del suelo de la Pan Amazonía

En este apartado se presentan algunas tablas y gráficos de los resultados más relevantes sobre las superficies anuales de la cobertura y uso del suelo (tabla 4), así como de sus cambios para el periodo 1985 – 2018 en la Pan-Amazonía (tabla 5). Todos ellos fueron extraídos de la plataforma web del proyecto<sup>4</sup>.

Los resultados de la Colección 2 muestran que, al finalizar el periodo 1985 – 2018, la Pan-Amazonía mantuvo el 83.4% de su cobertura natural inicial y perdió un aproximado de 72.5 millones de hectáreas. Esta superficie conformada tanto por bosques como por formaciones naturales no forestales equivale a un área similar al territorio de Chile.

La pérdida de bosques ascendió a 69.3 millones de hectáreas, que pasaron de representar el 84% de la Pan-Amazonía en 1985, al 76% en 2018. Aunque se mostró como una tendencia aparentemente lineal con una tasa promedio de pérdida de 2 millones ha/año, se registraron pérdidas importantes alrededor de los años 1990, 2003 y 2014. La Figura 11 muestra la tendencia de la clase dentro de la serie histórica.

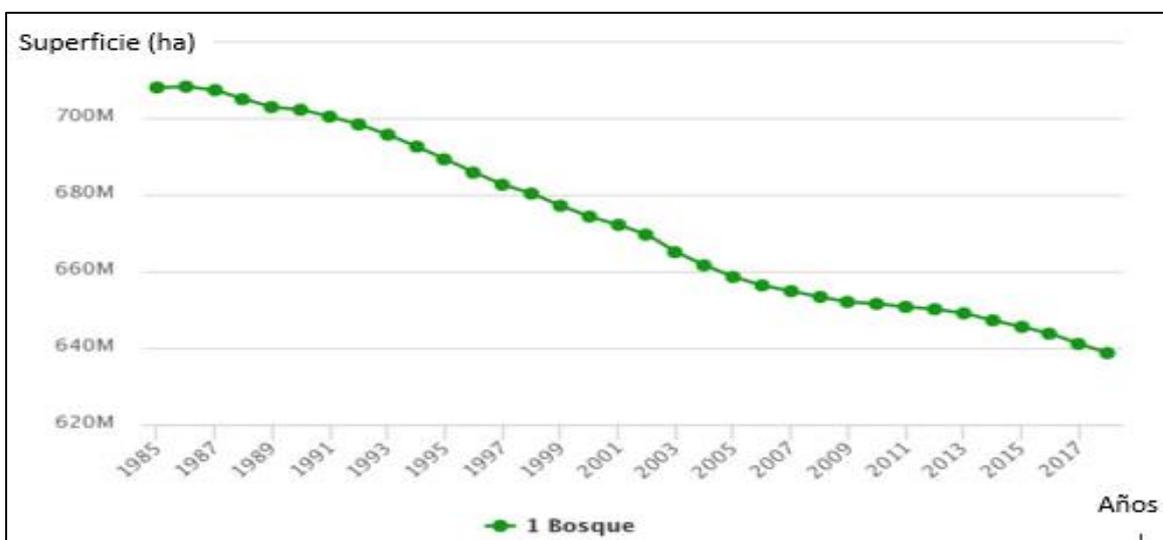


Figura 11. Superficie del bosque entre 1985 y 2018, en millones de hectáreas, como resultado de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: [amazonia.mapbiomas.org](http://amazonia.mapbiomas.org)

<sup>4</sup> Para consultar datos en función a otras unidades de análisis (departamentos, cuencas, territorios indígenas, entre otras) u otros periodos de transición (anual, quinquenal, entre otros), ingresar a la plataforma web del proyecto. [www.amazonia.mapbiomas.org](http://www.amazonia.mapbiomas.org)

Tabla 4. Superficie anual de coberturas y usos del suelo de la Pan-Amazonía

Superficie anual en millones de hectáreas																	
Clases	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>ID 1</b>	707.9	708.1	707.2	704.90	702.85	702.14	700.35	698.30	695.63	692.54	689.23	685.74	682.59	680.27	677.09	674.28	672.11
<b>ID 10</b>	71.66	71.02	70.23	70.12	70.24	69.87	70.08	69.69	69.57	69.78	69.75	69.66	69.59	69.30	69.36	69.62	69.87
<b>ID 14</b>	41.51	41.53	43.95	46.39	48.14	49.20	50.88	53.46	56.01	58.92	62.58	65.92	68.93	71.82	74.80	77.01	79.08
<b>ID 22</b>	7.78	7.41	7.19	7.28	7.18	7.14	7.05	7.13	7.17	7.19	7.19	7.09	7.15	7.13	6.77	6.91	6.89
<b>ID 33</b>	14.38	15.14	14.64	14.61	14.90	14.94	14.95	14.73	14.94	14.89	14.57	14.92	15.06	14.81	15.30	15.51	15.36
<b>ID 34</b>	0.20	0.20	0.19	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.16

Dónde: ID 1 = Bosque; ID 10 = Formación natural no forestal; ID 14 = Uso agropecuario; ID 22 = Áreas sin vegetación; ID 33 = Río, lago u océano; ID 34 = Glaciar.  
 Fuente: Plataforma web de MapBiomias Amazonia (<https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/stats>)

Superficie anual en millones de hectáreas																	
Clases	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>ID 1</b>	669.5	665.0	661.5	658.52	656.32	654.82	653.33	652.01	651.51	650.72	650.12	649.06	647.22	645.51	643.74	641.07	638.68
<b>ID 10</b>	69.70	69.84	69.65	69.63	69.18	69.09	68.95	69.07	69.14	69.03	68.74	68.65	68.64	68.64	68.50	68.34	68.49
<b>ID 14</b>	82.18	86.17	89.65	92.72	95.21	96.71	98.21	99.32	100.26	101.07	101.91	102.99	104.51	106.07	108.17	110.75	112.77
<b>ID 22</b>	6.94	7.00	7.00	6.97	7.03	6.99	7.00	6.97	6.94	6.89	6.83	6.78	6.87	6.91	7.10	7.19	7.44
<b>ID 33</b>	14.95	15.33	15.46	15.51	15.61	15.72	15.85	15.98	15.50	15.63	15.74	15.86	16.11	16.22	15.85	16.01	15.96
<b>ID 34</b>	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	0.14

Dónde: ID 1 = Bosque; ID 10 = Formación natural no forestal; ID 14 = Uso agropecuario; ID 22 = Áreas sin vegetación; ID 33 = Río, lago u océano; ID 34 = Glaciar.  
 Fuente: Plataforma web de MapBiomias Amazonia (<https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/stats>)

Tabla 5. Cambios de cobertura y uso del suelo para el periodo 1985 – 2018 en la Pan-Amazonía

Clases 1985	Clases 2018 (Superficie en millones de hectáreas)						Total
	Bosque	Formación natural no forestal	Uso Agropecuario	Áreas sin vegetación	Río, Lago y Océano	Glaciar	
Bosque	629.58	3.68	71.09	0.44	1.95	0.00	706.8
Formación natural no forestal	2.84	63.71	3.94	0.52	0.53	0.00	71.5
Uso Agropecuario	5.02	0.72	35.26	0.30	0.14	0.00	41.4
Áreas sin vegetación	0.30	0.58	0.53	6.28	0.06	0.01	7.8
Cuerpos de agua	0.80	0.32	0.20	0.12	0.00	0.00	1.4
Río, Lago y Océano	0.80	0.31	0.20	0.05	12.98	0.00	14.4
Glaciar	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.13	0.2
Total	639.35	69.32	111.23	7.77	15.66	0.15	843.48

Fuente: Plataforma web de MapBiomias Amazonia (<https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/stats>)

Con respecto a la formación natural no forestal, que comprende las clases asociadas a ecosistemas de herbazales inundables, pajonales y matorrales, registró una pérdida de 3.2 millones de hectáreas para el periodo 1985 – 2018. Representando al inicio del periodo un 8.5% de la Pan-Amazonía, llegando al 2018 pasó a registrar solo el 8.1% de la misma. La tasa de pérdida promedio fue de 91 mil ha/año. La Figura 12 muestra la tendencia de la clase dentro de la serie histórica.

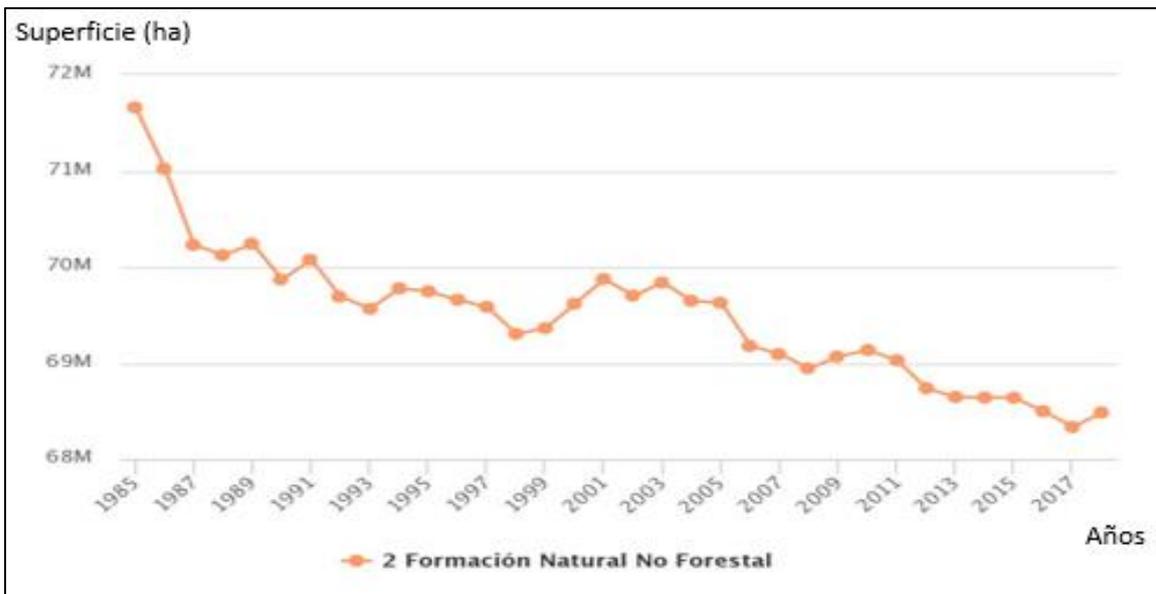


Figura 12. Superficie de las formaciones naturales no forestales entre 1985 y 2018, en millones de hectáreas, como resultado de la Colección 2 del proyecto MapBiomás Amazonía. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

En cuanto al uso agropecuario, las estadísticas mostraron un crecimiento de 71.3 millones de hectáreas entre los años 1985 y 2018; equivalente a un aumento del 172% de los usos agropecuarios dentro del territorio. Este uso del suelo pasó de representar el 5% en 1985 al 13% de la superficie total en 2018, a una tasa promedio anual de 2 millones de ha/año. La Figura 13 muestra la tendencia de la clase dentro de la serie histórica.

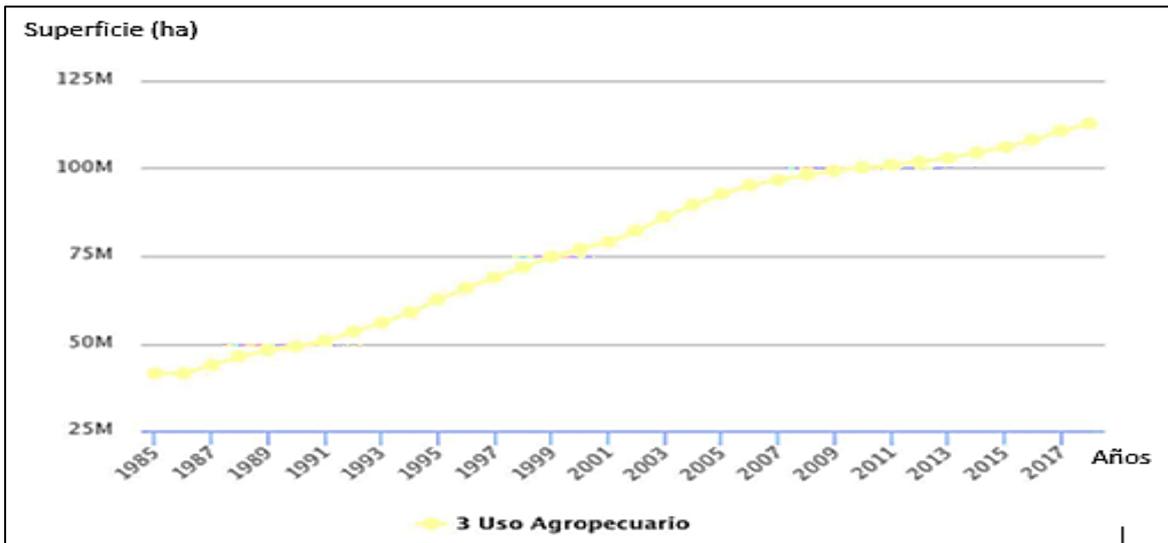


Figura 13. Superficie del uso agropecuario entre 1985 y 2018, en millones de hectáreas, como resultado de la Colección 2 del proyecto MapBiomás Amazonía. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

Asimismo, las estadísticas mostraron un panorama interesante respecto a los cuerpos de agua y glaciares. Mientras que los primeros (Figura 14) presentaron una tendencia ascendente dentro de la región Pan-Amazónica; el mapeo pone en evidencia el claro retroceso glaciar dentro del área de análisis (Figura 15).

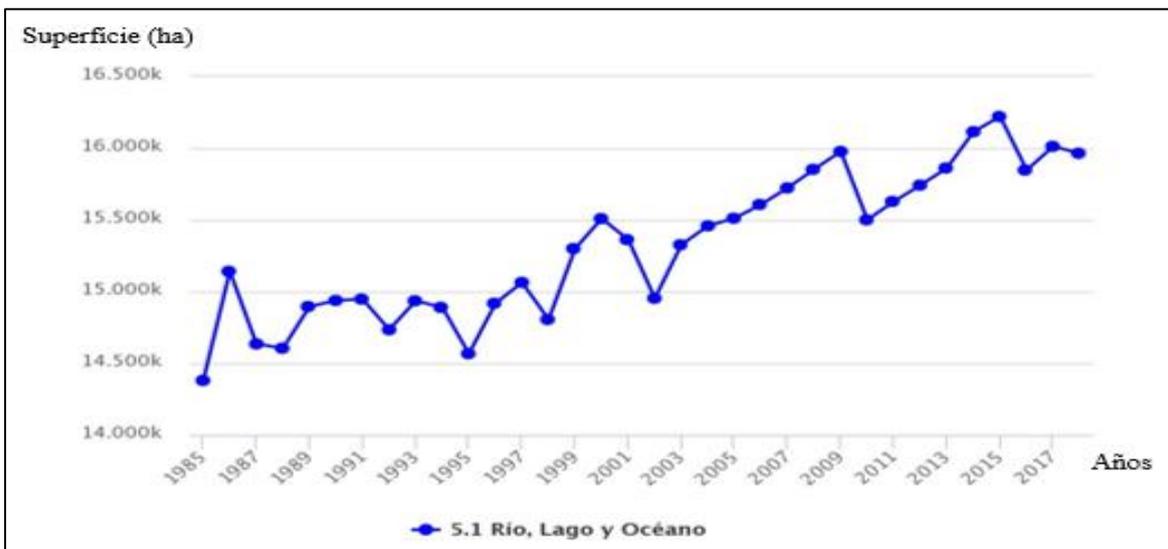


Figura 14. Superficie de los cuerpos de agua entre 1985 y 2018, en miles de hectáreas, como resultado de la Colección 2 del proyecto MapBiomás Amazonía. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

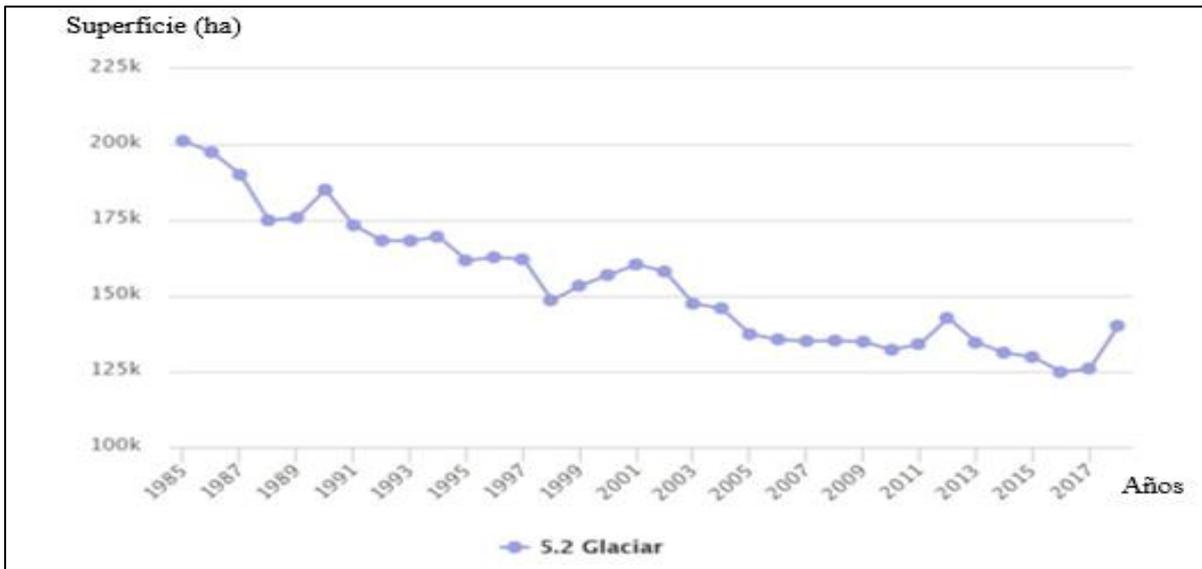


Figura 15. Superficie de los glaciares entre 1985 y 2018, en miles de hectáreas, como resultado de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: amazonia.mapbiomas.org

El área de trabajo de la RAISG y del proyecto MapBiomias Amazonía contempla la existencia de territorios indígenas y áreas naturales protegidas que representan el 28% y el 23% de la Pan-Amazonia respectivamente. En conjunto, estos territorios albergan alrededor del 60% de la cobertura forestal de la región, convirtiéndolos en actores claves de la conservación y monitoreo del bosque.

Como se explicó en el evento de lanzamiento de la Colección 2, las estadísticas del proyecto indicaron que dentro de las áreas naturales protegidas existieron pérdidas de cobertura forestal que alcanzaron los 3 millones de hectáreas al finalizar el periodo de 34 años. Sin embargo, al 2018 todavía las áreas protegidas albergaron el 30% de los bosques de la región amazónica. La cantidad perdida solo representó el 4% de la pérdida total Pan-Amazónica.

Finalmente, en el ámbito de los territorios indígenas se perdieron 2.1 millones de hectáreas de bosques para el periodo 1985 – 2018. Al 2018 los bosques dentro de territorios indígenas representaron el 33% del total de bosques de la Pan-Amazonía y la pérdida registrada para esta unidad de análisis no supera el 3% de la pérdida total de la región.

Estos resultados hacen visible el importante rol de las áreas naturales protegidas y los territorios indígenas en la conservación de los bosques.

### 1.3. Caso práctico para el monitoreo de la vegetación secundaria

En este apartado se presentan algunos de los resultados obtenidos en el caso práctico de aplicación de los productos MapBiomás Amazonía para el monitoreo del bosque, enfocado a la estimación de la vegetación secundaria.

El script de programación utilizado generó un raster de la edad de la vegetación secundaria en el departamento de Madre de Dios para el año 2018 (Figura 16). Este producto es acompañado por un dataset de 30 rasters (de 30 metros de resolución y proyección geográfica WGS84) de la edad, de la extensión, del incremento y de la pérdida anual de la vegetación secundaria considerando el periodo de análisis 1989 – 2018.

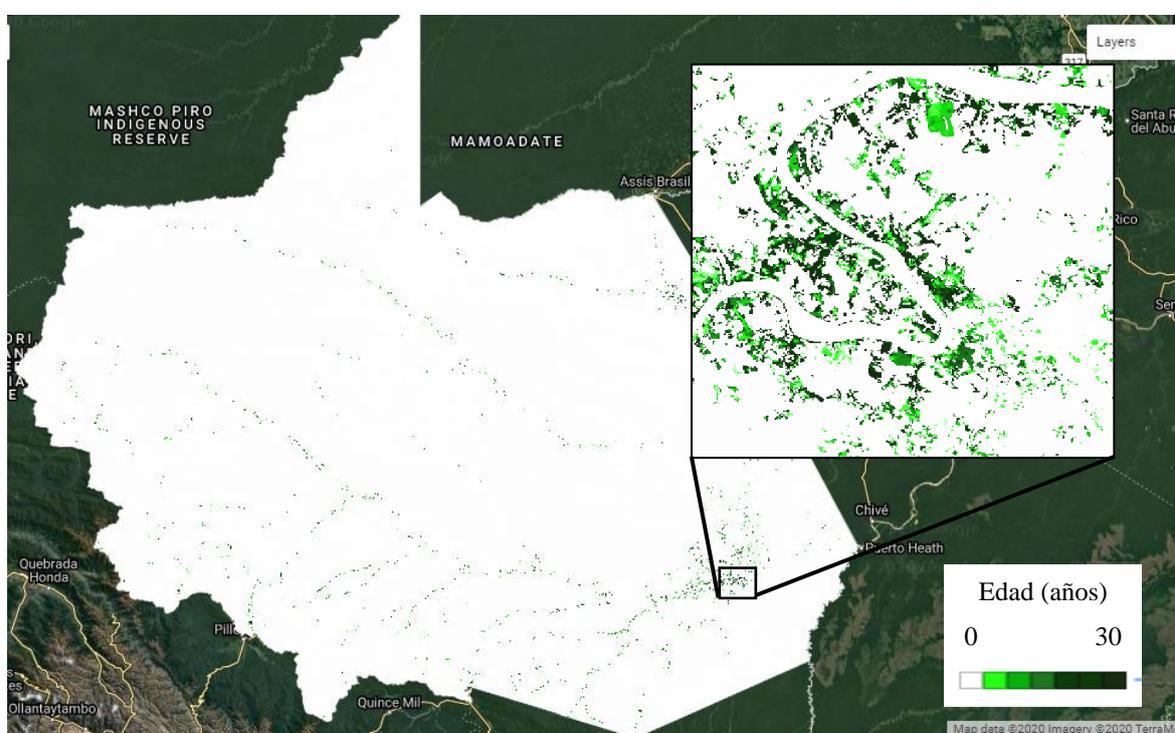


Figura 16. Raster de edad de vegetación secundaria al año 2018 en el departamento de Madre de Dios. Resultado de un caso práctico que utiliza como insumo los mapas del proyecto MapBiomás Amazonía.

La adaptación del script original y la generación de datos no tardaron más de una semana. El código de programación adaptado de la metodología de Silva et al. (2020) puede ser consultado a través del siguiente link: <https://code.earthengine.google.com/e2efe493d2c630c7418133a68065a3c2>

Como resultado de la aplicación de esta metodología para el ámbito del departamento de Madre de Dios, se estimó que al año 2018 la vegetación secundaria estuvo compuesta predominantemente por bosques secundarios jóvenes (CATIE, 2016; Rios, 2008; Smith et al., 1997). Este estadio sucesional, con individuos entre 5 y 20 años de edad (MINAM, 2019), se visualiza en las imágenes satelitales con tonos claros y texturas finas, que podrían confundirse con vegetación arbórea que crece en suelos muy pobres como los llamados “varillales”.

La superficie de vegetación secundaria por edad se muestra en la Figura 17. Aplicando los criterios de discriminación etaria de la vegetación secundaria del subcomité técnico de Degradación Forestal de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD, 2019), los resultados pueden agruparse en 11 mil ha de purma (de 1 a 4 años), 33.3 mil ha de bosque secundario joven (de 5 a 20 años) y 19 mil ha de bosque secundario maduro (mayor a 20 años), aproximadamente.

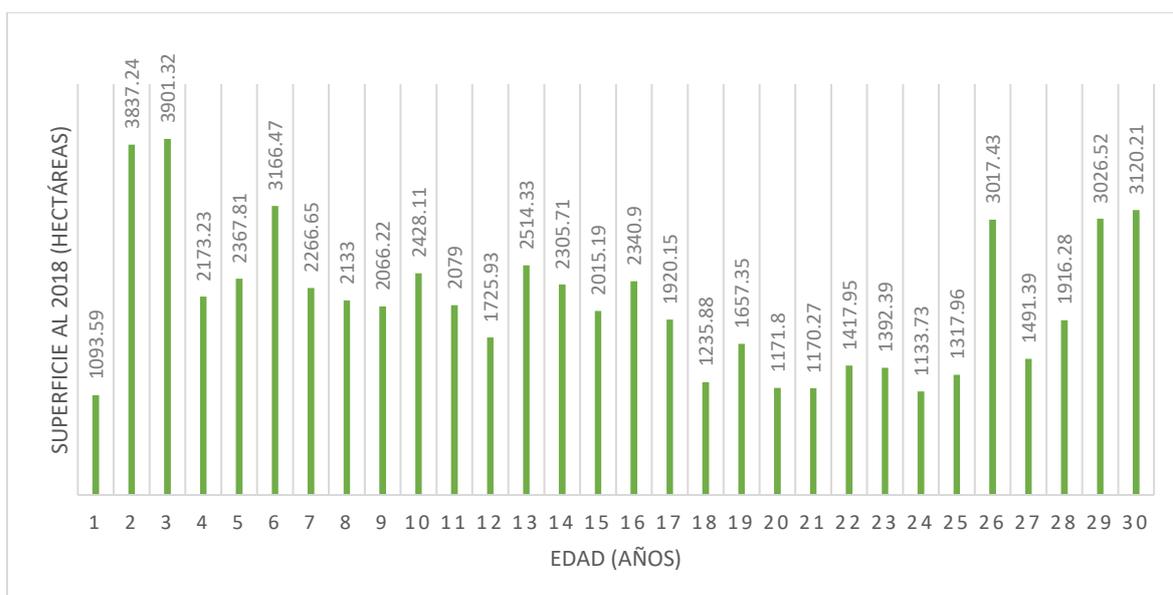


Figura 17. Superficie de vegetación secundaria, en hectáreas, en función a su edad dentro del departamento de Madre de Dios para el periodo de análisis 1989 – 2018.

Los resultados reportaron una tendencia ascendente en la superficie cubierta por vegetación secundaria a lo largo del periodo de análisis (Figura 18). Partiendo de una extensión neta de poco más de 5 mil ha en 1989, alcanzó un valor de 61.5 mil ha en 2018.

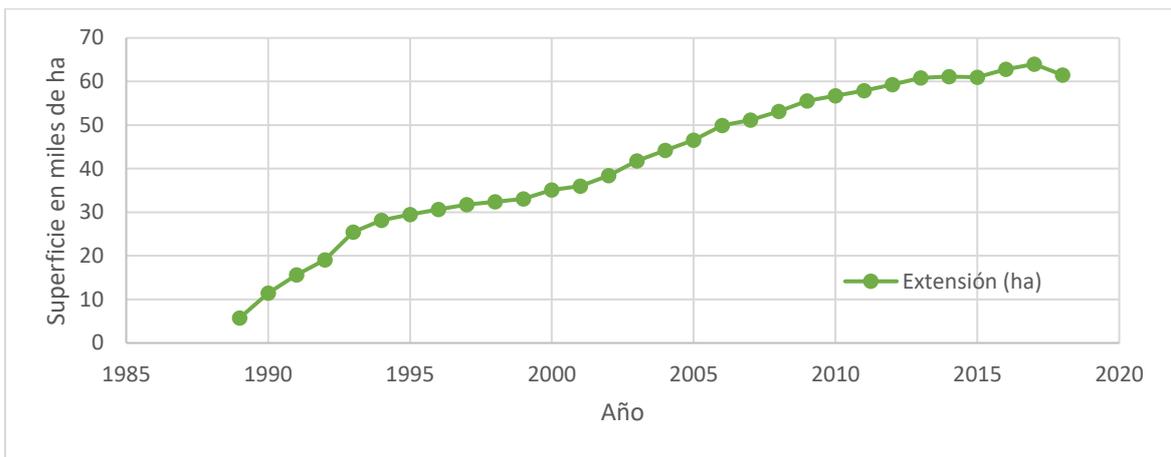


Figura 18. Superficie neta anual de vegetación secundaria, en miles de hectáreas, dentro del departamento de Madre de Dios para el periodo de análisis 1989 – 2018.

Por otro lado, la figura 19 pone en evidencia la alta dinámica de la vegetación secundaria de Madre de Dios a lo largo del periodo 1989 – 2018. Se registró un pico de incremento anormal para el año 1993, que será motivo de evaluación para fines de publicación de este análisis. Sin embargo, es posible inferir que el resultado esté relacionado directamente a la calidad de las imágenes y su clasificación entorno a ese año.

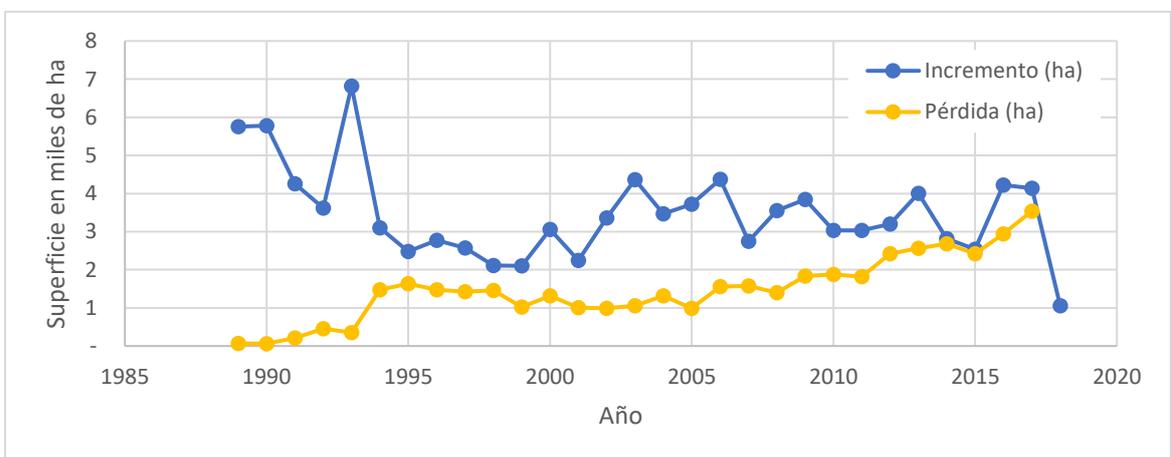


Figura 19. Superficie de incremento y pérdida anual de vegetación secundaria, en miles de hectáreas, dentro del departamento de Madre de Dios para el periodo de análisis 1989 – 2018.

Esta breve descripción de un caso práctico de aplicación de los productos MapBiomás Amazonía, no solo resalta su potencial de uso en el análisis de la dinámica de la vegetación

secundaria; sino que, además, sugiere el replanteo de criterios para el monitoreo de la dinámica de los bosques y otros tipos de vegetación natural en el país.

Se ha demostrado que existe recuperación del recurso forestal en el tiempo. Por ende, el desarrollo de análisis más profundos y detallados respecto a la dinámica de sucesión de los bosques secundarios necesita ser incluido en las metodologías de cálculo de deforestación, biomasa, carbono y otras que, actualmente, contemplan exclusivamente a los bosques primarios.

## **2. APORTES Y DESARROLLO PROFESIONAL**

### **2.1. Logros y desafíos del proyecto MapBiomás Amazonía**

Como parte del proceso de mejora continua del proyecto, la retroalimentación del equipo técnico y las contribuciones rescatadas de los usuarios a través del foro virtual, permiten describir a continuación algunos de los logros y desafíos de MapBiomás Amazonía.

MapBiomás Amazonía viene proporcionando mapas de cobertura y uso de gran escala, a una velocidad y un período de análisis sin precedentes, que parte de la aplicación de una metodología de clasificación automatizada. El proceso se vio fortalecido por el intercambio de ideas y el trabajo en red para lograr una metodología ajustada a las necesidades por país.

Las críticas de usuarios, expertos y científicos que al principio se mostraban escépticos a la metodología y la precisión de los primeros resultados van disminuyendo, y el número de usuarios va en aumento. Entorno a la adquisición de productos, los usuarios indican que la plataforma web es eficaz y fácil de usar. Sin embargo, aún enfrentan dificultades para manejar los archivos descargados. Las limitaciones e inconsistencias de las funcionalidades se encuentran en constante mejora.

Uno de los aportes adicionales de la iniciativa global fue el lanzamiento del Premio MapBiomás; que contribuye al reconocimiento de investigadores de todas las edades por la utilización de los datos de cualquiera de las iniciativas regionales del proyecto. Actualmente, ya se encuentra en su tercera edición y ha recompensado varias investigaciones (Nabuco &

De Albuquerque, 2017; Frey et al. 2018; Matos & Assis, 2018; Dos Santos, 2019; Püttker et al., 2020; Camana et al., 2020; Vieira, 2019; Pires, 2020).

A la luz de la expansión de MapBiomias a varios países (MapBiomias Brasil, MapBiomias Chaco, MapBiomias Pampa, MapBiomias Perú, MapBiomias Bolivia y MapBiomias Indonesia) y el fuerte interés de la comunidad internacional en el uso y cambio de uso de la tierra, es importante seguir reforzando y actualizando la leyenda de clasificación y sus definiciones. La consulta continua con expertos de entidades públicas y privadas de los diferentes países garantiza la armonización de las definiciones de las diferentes clases de uso en la leyenda estandarizada con otros sistemas de clasificación.

## **2.2. Desarrollo profesional**

Este documento relató la experiencia de una especialista en teledetección y monitoreo forestal del área de Políticas públicas y gestión de los bienes comunes del IBC. La descripción teórica y práctica de su experiencia dentro del proyecto MapBiomias Amazonía permitió mostrar la relevancia de esta iniciativa en el campo de la conservación; que no solo contribuye con la misión del IBC y la RAISG sino también al desarrollo de múltiples líneas de investigación y generación de datos que complementan otras iniciativas del sector privado, público y de la sociedad civil.

Con base en el desarrollo de esta experiencia, es posible afirmar que la eficiencia en tiempos y procesos se vio fortalecida por el uso de nuevas tecnologías y por el trabajo en equipo, logrando así metodologías adecuadas para cada país. Haber logrado mapas anuales de cobertura y uso del suelo para toda la Pan-Amazonía por 34 años (Colección 2), en tan solo un año de trabajo y con un equipo reducido de personas por país, demuestra el potencial de estas nuevas tecnologías de procesamiento.

Asimismo, el desarrollo de talleres técnicos de difusión del proyecto y de capacitaciones a entidades públicas como el MINAM, el SERFOR y el SERNANP permitieron incentivar en el sector público el uso de tecnologías de código abierto que, en términos económicos y de velocidad y escala de procesamiento de datos espaciales, resultan muy prometedoras.

El desarrollo de esta experiencia sumado a la sólida formación universitaria y la capacitación continua en tecnologías para el monitoreo satelital, permitieron al profesional forestal aportar con iniciativas de investigación. Un ejemplo de ellas se describió brevemente en el subcapítulo “Caso práctico para el monitoreo de la vegetación secundaria”, que supone material para una futura publicación.

Las nuevas versiones o colecciones de mapas que se han venido generando a lo largo de estos 4 años de existencia del proyecto MapBiomás Amazonía, no solo implicaron la ampliación en la serie temporal analizada; sino que, además, incluyeron mejoras metodológicas basadas en las lecciones aprendidas con cada una de ellas. Como próximo reto, el IBC se ha planteado el mapeo de la totalidad del territorio peruano para dar a conocer sus coberturas y cambios de uso anual a lo largo del período 1985 – 2020; lo que supone la publicación de un producto nacional sin precedentes en el corto plazo.

## CONCLUSIONES

- Se describió la experiencia de mapeo anual de coberturas y usos del suelo de la Pan-Amazonía, basada en la metodología de la Colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. El uso de la plataforma de geoprocésamiento en la nube de Google Earth Engine permitió implementar una metodología rápida, fiable y de bajo costo; aplicando el algoritmo de *Random Forest* a una serie temporal de 34 años (1985 – 2018) de imágenes Landsat. Los mapas presentaron una precisión temática promedio de 93.6% para una leyenda de 12 clases, y han demostrado un alto potencial en el monitoreo de áreas amenazadas por la conversión de la cobertura.
- Se presentó, además, un caso práctico de aplicación de los productos de MapBiomias Amazonía en el monitoreo del bosque, enfocado a la estimación de la edad de la vegetación secundaria en el departamento de Madre de Dios. Utilizando los criterios de discriminación etaria de la vegetación secundaria del subcomité técnico de DGCCD - MINAM, se estimó que para el final del periodo 1989 – 2018, los bosques secundarios jóvenes (de 5 a 20 años) tuvieron predominancia frente a las purmas y los bosques secundarios maduros. La evidente recuperación del recurso forestal en el tiempo sugiere que la dinámica de los bosques secundarios necesita ser incluida en las metodologías de deforestación, biomasa, carbono y otras que, actualmente, solo contemplan exclusivamente a los bosques primarios.
- En cuanto al desarrollo de la experiencia, es posible afirmar que el éxito del proyecto se debió al aporte técnico y administrativo de cada una de las organizaciones miembros de la RAISG, que garantizaron la implementación de mejoras y ajustes pertinentes en la metodología original. Las limitaciones e inconsistencias que aun presenta la plataforma web se encuentran en constante mejora para seguir aportando en el campo de la investigación y las políticas de conservación. A la luz de la expansión de MapBiomias a varios países y el fuerte interés de la comunidad internacional en el uso y cambio de uso del suelo, es importante reafirmar los lazos con actores claves de las entidades públicas y privadas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar este tipo de metodologías de procesamiento en la nube para los diferentes proyectos de interés nacional en la evaluación de recursos naturales. El uso de plataformas como la de Google Earth Engine y su tecnología de código abierto resulta prometedora respecto a la accesibilidad, la velocidad de procesamiento de datos a gran escala y los costos asociados.
- Es importante respaldar proyectos a gran escala, como MapBiomás Amazonía y sus derivados, con la participación de equipos técnicos multidisciplinarios que fortalezcan el intercambio de ideas en función a las necesidades particulares de cada especialidad. La cooperación técnica de entidades académicas relevantes, como la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, resultó clave para el proceso de validación de mapas.
- Si bien los resultados cartográficos cuentan con una validación estadística, se recomienda complementar la información con verificación en campo. Los mapas aún podrían presentar inconsistencias espaciales o temporales derivadas de la calidad de las imágenes satelitales disponibles o de los propios métodos de clasificación.

## REFERENCIAS

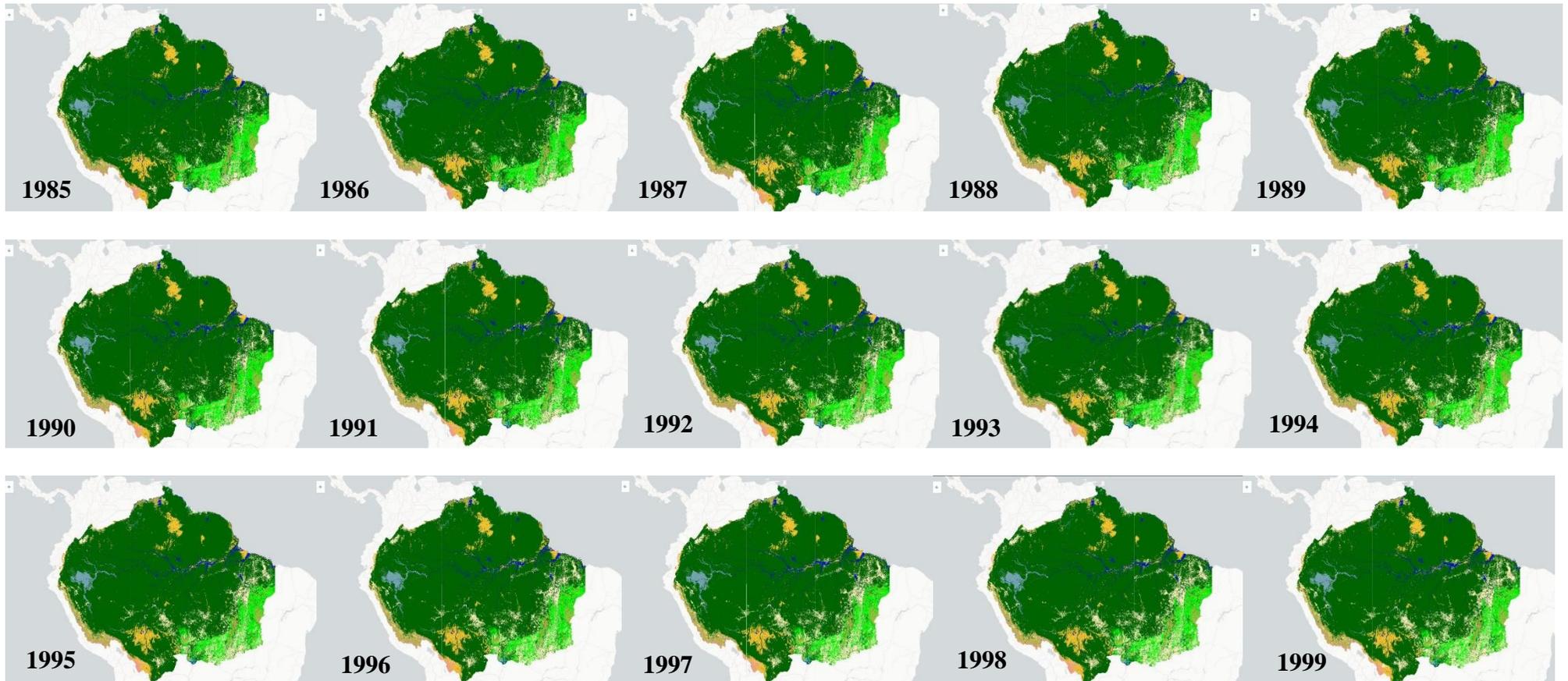
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- Aulló, M. E. (2014). La teledetección como herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad de ecosistemas forestales latinoamericanos frente al cambio climático: fragmentación y conectividad (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45, 5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- Camana, M., Bolson, R., Carello, F., Gertum, F. (2020). Avaliando o legado de trajetórias do uso da terra em comunidades de peixes de riacho no sul do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil.
- CAN (2009). Presentan Mapa de Ecosistemas de los Andes que profundiza conocimiento de nuestra biodiversidad. [Comunicado de prensa]. Recuperado de: <http://www.comunidadandina.org/Prensa.aspx?id=2610&accion=detalle&cat=NP&title=presentan-mapa-de-ecosistemas-de-los-andes-que-profundiza-conocimiento-de-nuestra-biodiversidad>
- Cárdenas, O. (2005). Ordenamiento ecológico e impacto ambiental: tendencias globales en el cambio de uso del suelo. Universidad de Guadalajara. México.
- CATIE. (2016) Definición de Bosques Secundarios y Degradados en Centroamérica. Documento de trabajo, CATIE. Forestry and Climate Change Fund. Costa Rica.
- CDC – UNALM (2012). Manual de la metodología de clasificación semiautomática, para el mapeo de cobertura y uso de la tierra, empleando Random Forest. Lima, Perú.
- CEPAL y Patrimonio Natural (2013). Amazonia posible y sostenible. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11362/1506>
- Chuvieco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371. Madrid, España.
- Dos Santos, L. (2019) Modelagem baseada em dados para previsão da emergência de zoonoses: um estudo de caso da Febre Amarela silvestre no Brasil. (Tese Doutorado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. Brasil.

- ESA (2005). The GlobCover Project. [Publicación en página web]. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i0196e/i0196e16.pdf>
- FAO (2018). NASA and FAO launch next-generation geospatial tool. [Comunicado de prensa]. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1173756/icode/>
- Frey, G. P., West, T. A., Hickler, T., Rausch, L., Gibbs, H. K., & Börner, J. (2018). Simulated impacts of soy and infrastructure expansion in the Brazilian Amazon: A maximum entropy approach. *Forests*, 9(10), 600. Brasil.
- Gamarra, S. (2017). Análisis de la cobertura y uso de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón, Chanchamayo, Junín, Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>
- Gregory, M.J.; Yang, Z.; Bell, D.M.; Cohen, W.B.; Healey, S.; Ohmann, J.L. & Roberts, H.M. (2015). Cloud-based computation for accelerating vegetation mapping and change detection at regional to national scales. *New Directions in Inventory Techniques & Applications Forest Inventory & Analysis (FIA) Symposium 2015*. Recuperado de: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/50360>
- IIAP (2017). Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra distrito de Padre Abad, departamento de Ucayali, Perú. Iquitos:IIAP.
- Killeen, T. J. (2007). Una tormenta perfecta en la Amazonia. Desarrollo y conservación en el contexto de la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA). Conservation International. Arlington, Estados Unidos.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation (7<sup>o</sup> ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Malleux, R. (2003). Estudio Comparativo entre la interpretación visual y la clasificación digital del bosque de producción permanente Biabo Cordillera Azul Utilizando Imágenes Satelitales Landsat TM (Tesis). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Matos, A.P. & Assis P.C. (2018) Análise da influência das infraestruturas de transporte e energia no uso e cobertura da terra no município de Jataí. Goiás, Brasil.
- Meneses, C. (2009). Análisis del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) para la detección de la degradación de la cubierta forestal en México 2008- 2009. Documento de trabajo N°173 Evaluación de Recursos Forestales. Roma, Italia.

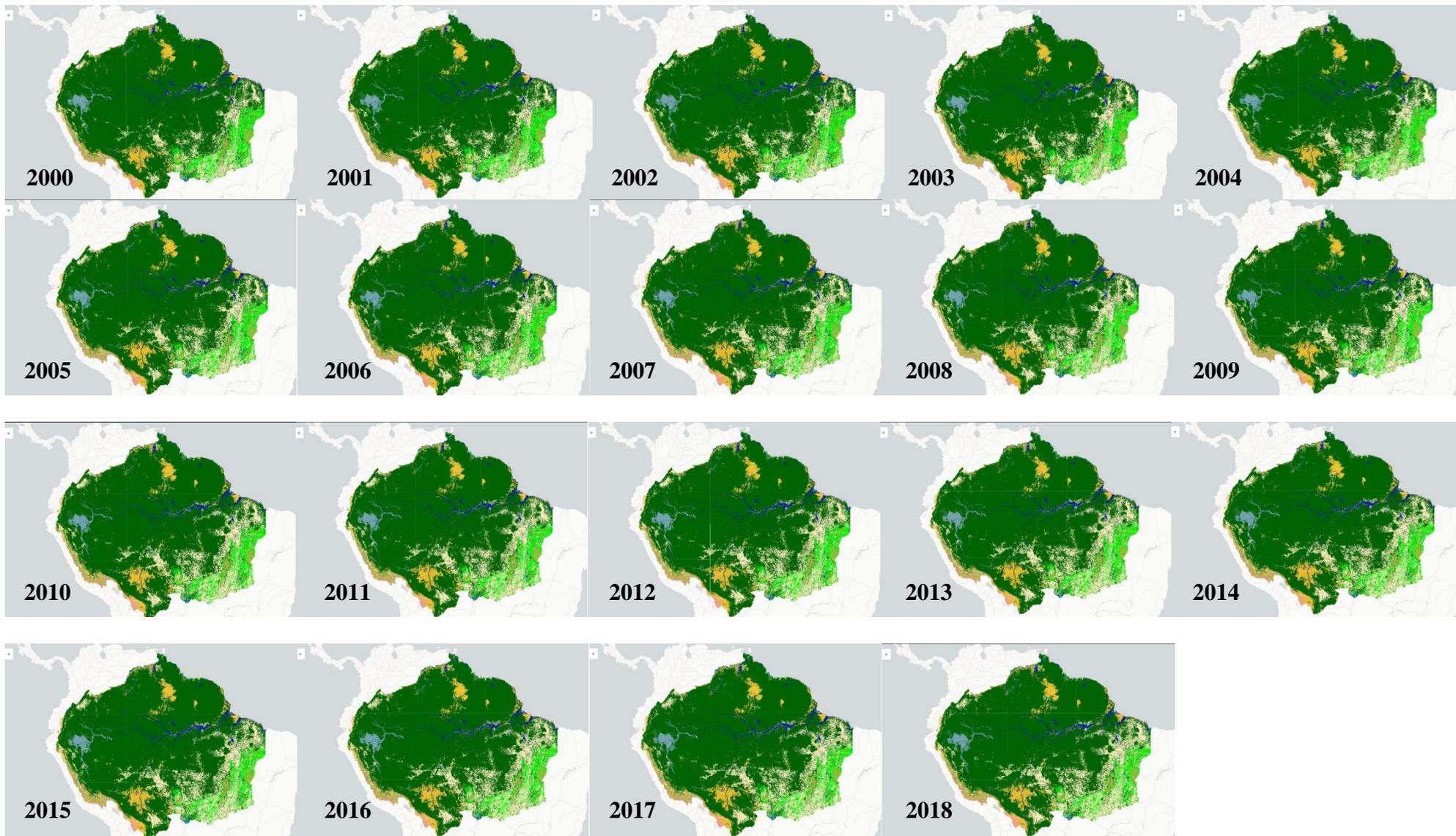
- MINAM (2014). Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Lima, Perú. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/11898/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>
- Nabuco, F. R. & De Albuquerque, R.A. (2017) Inteligência geográfica aplicada na avaliação de impactos ambientais de sistemas de transmissão de energia. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) – Brasília.
- Nogueira, S.H.M., Parente, L.L., Ferreira, L.G. (2017) Temporal Visual Inspection: uma ferramenta destinada à inspeção visual de pontos em séries históricas de imagens de sensoriamento remoto. In *Proceedings of the Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva*, (pp. 6-9). Rio de Janeiro, Brazil.
- OTCA (2016). Monitoreo de la Cobertura Forestal en la Región Amazónica. [Publicación en página web]. Recuperado de: <http://www.otca-oficial.info/projects/details/1#:~:text=El%20Proyecto%20de%20Monitoreo%20de,monitoreo%20de%20la%20cobertura%20forestal>.
- Pires, A.G. (2020) - Seleção de áreas aptas para implantação de usinas fotovoltaicas baseada em modelo de lógica Booleana-Fuzzy. Instituto Federal de Goiás. Brasil.
- Proyecto MapBiomias Amazonia. (2020). ATBD General Colección 2.0. MapBiomias Amazonía. Recuperado de: <http://amazonia.mapbiomas.org/atbd-general>
- Pontius Jr, R.G. & Millones, M. (2011) Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429, doi:10.1080/01431161.2011.552923
- Püttker, T., Crouzeilles, R., Almeida-Gomes, M., Schmoeller, M., Maurenza, D., Alves-Pinto, H., ... & Metzger, J. P. (2020). Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. *Biological Conservation*, 241. doi: 10.1016/j.biocon.2019.108368
- Quipuscoa Silvestre, V., Dillon, M. O., Treviño Zevallos, Í., Balvin Aguilar, M., Mejía Ríos, A., Ramos Aranibar, D., ... & Montesinos Tubée, D. (2019). Impacto de los cambios climáticos y uso de suelo, en la distribución de las especies de géneros endémicos de Asteraceae de Arequipa. *Arnaldoa*, 26(1), 71-96. doi: 10.22497/arnaldoa.261.26105
- Ríos, J. (1990). Manual de árboles más comunes de los bosques secundarios de Pucallpa. Proyecto de Utilización de bosques secundarios en el trópico húmedo peruano. FCF-UNALM, CIID. Canadá.

- Ríos, J. (2008). Bases técnicas para el manejo forestal en bosques secundarios. Evaluación Integral y Estrategia para el manejo sostenible de los bosques secundarios de la Región de Selva Central del Perú. Perú.
- Sanjurjo, J. y Kalliola, R. (2004). Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para selva baja peruana (Documento técnico N°3 BIODAMAZ). Iquitos, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/243>
- Silva Junior, C.H.L.; Heinrich, V.H.A.; Freire, A.T.G.; Broggio, I.S.; Rosan, T.M.; Doblaz, J.; Anderson, L.O.; Rousseau, G.X.; Shimabukuro, Y.E.; Silva, C.A.; House, J.I. & Aragão, L.E.O.C. (2020). Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. *Scientific data*, 7(1), 1-9. doi: 10.1038/s41597-020-00600-4
- Smith, J., Sabogal, C., W. de JONG, & Kaimowitz, D. (1997). Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina (No. 13, p. 36). Bogor: CIFOR.
- Souza Jr, C., & Siqueira, J. V. (2013). ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis. *Proceeding of Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1571-1578. Foz do Iguaçu, PR, Brazil, Recuperado de: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.35.24>
- Tarrillo L.M. (2019). Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Tacabamba años 2003 y 2018 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Tumer, K. y Ghosh, J. (1996) Error correlation and error reduction in ensemble classifiers. *Connection Science*, 8:3-4, 385-404, doi: 10.1080/095400996116839
- Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J. & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499. doi: 10.1007/978-0-387-73412-5\_1
- Vieira, J.P. (2019) - Curbing or Displacing Deforestation? The Amazon Blacklist Policy (Monografía Final). Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro. Brasil.
- Wadsworth, F. (2000). Producción Forestal para América Tropical. IUFRO-SPDC Textbook Project N°3. Washington, Estados Unidos.
- Witting, N. (2019). Cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes períodos a partir del uso de imágenes satelitales en el distrito de Codo del Pozuzo, Huánuco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.
- WRI (2014). Global Forest Watch: Dynamic New Platform to Protect Forests Worldwide. [Comunicado de prensa]. Recuperado de: <https://www.wri.org/news/2014/02/release-global-forest-watch-dynamic-new-platform-protect-forests-worldwide>

*Anexo 1. Visualización de rasters de cobertura y uso del suelo de la Pan-Amazónica*



Fuente: Plataforma web de MapBiomias Amazonía (<https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/map>)



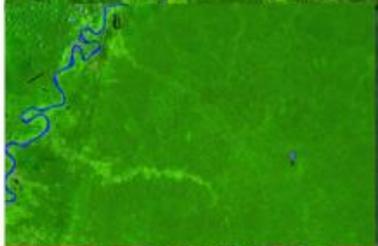
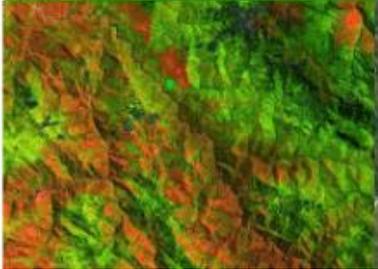
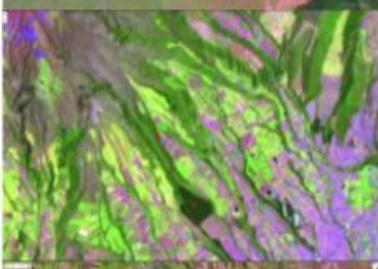
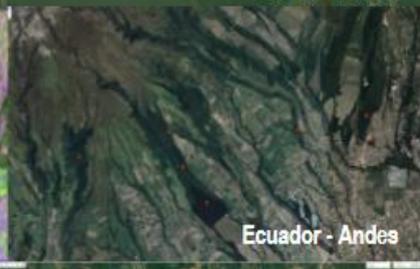
Fuente: Plataforma web de MapBiomás Amazonía (<https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/map>)

## *Anexo 2. Biomas delimitados en el ámbito de trabajo*

<b>Bioma</b>	<b>Área (millones de ha)</b>	<b>%</b>	<b>Países que lo componen</b>
<b>Amazonía</b>	695.9	82.5%	Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam, Venezuela.
<b>Andes</b>	27.0	3.2%	Bolivia, Ecuador, Perú
<b>Cerrado</b>	96.2	11.4%	Brasil
<b>Chaco-Chiquitano</b>	15.2	1.8%	Bolivia
<b>Pantanal</b>	5.9	0.7%	Brasil
<b>Tucumano boliviano</b>	3.4	0.4%	Bolivia

Fuente: Proyecto MapBiomias Amazonía (2020)

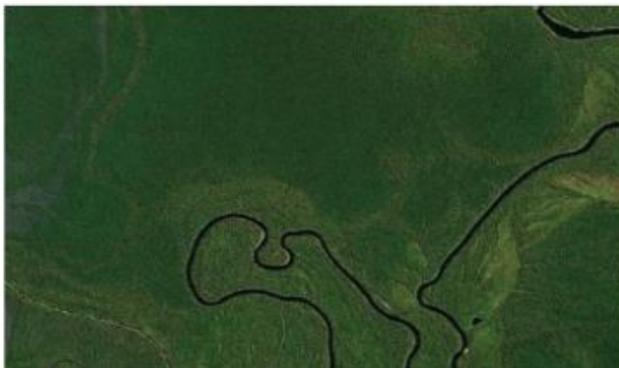
### Anexo 3. Claves de interpretación de leyenda de la Colección 2

<b>Bosque (ID 3)</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>- Formaciones forestales, predominancia arbórea.</li></ul>		 <p>Perú - Amazonia</p>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Perenne, semideciduo, deciduo; densos, mixtos, relictos</li></ul>		 <p>Guyanas - Amazonia</p>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Terrazas, colinas, montañas, riparios</li><li>- Complejos sucesionales, bambú, plantaciones</li></ul>		 <p>Perú - Andes</p>
<ul style="list-style-type: none"><li>- EXCLUYE:<ul style="list-style-type: none"><li>- Bosques inundables (Amazonia Perú)</li></ul></li></ul>		 <p>Bolivia - Chaco</p>
	 <p>Ecuador - Andes</p>	
	 <p>Bolivia - Tucumano</p>	

Nota: Adaptación de la presentación de claves de interpretación para la validación de la colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: MapBiomias Amazonía, 2020.

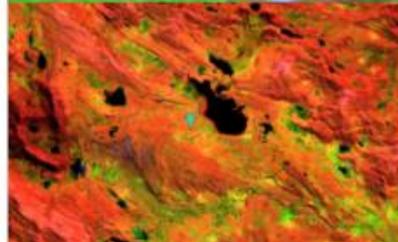
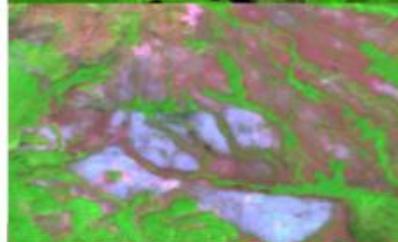
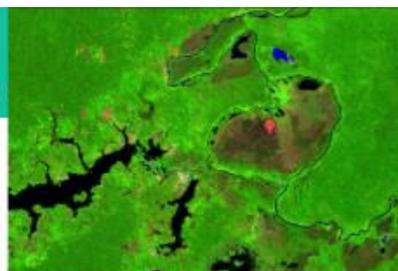
## Bosque inundable (ID 6)

- Ecosistemas de bosque aluvial inundable y pantanos de palmeras
- Coberturas boscosas periódicamente o permanentemente inundadas.



## Formación natural no forestal inundable (ID 11)

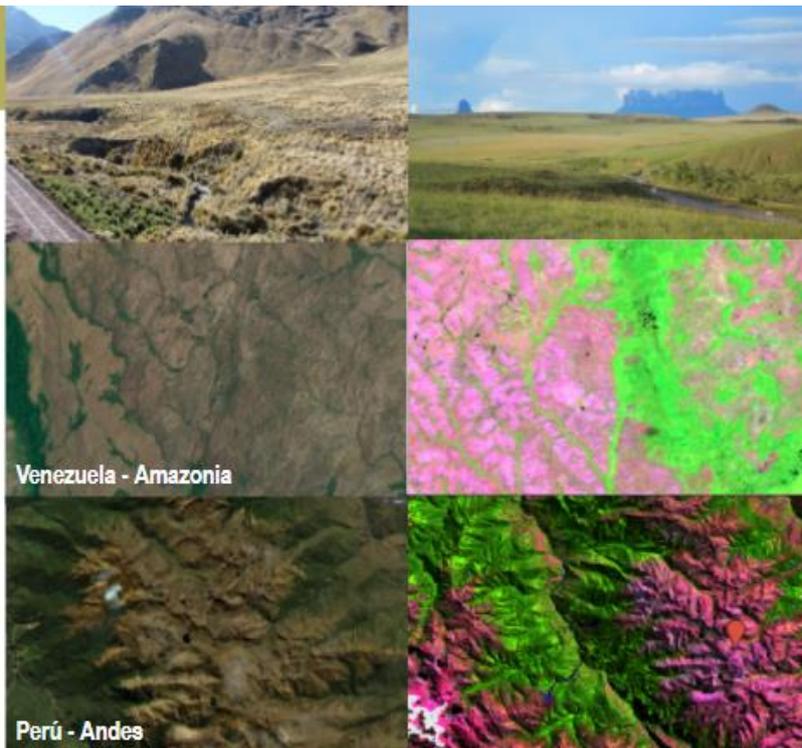
- Pantanos herbáceo-arbustivos
- Vegetación herbácea o arbustiva sujeta a inundaciones periódicas
- Vegetación siempre verde, compacta y almohadillada (Bofedales).



Nota: Adaptación de la presentación de claves de interpretación para la validación de la colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: MapBiomias Amazonía, 2020.

## Formación campestre (ID 12)

- (Perú) Pajonales gramínicos propios de las laderas abiertas y expuestas a vientos del páramo y la jalca, zonas transitorias hacia los Andes
- (Venezuela) Arbustales; Sabanas
- (Colombia) vegetación de tipo herbácea, de bosques de galería, herbazales densos, arbustales, pastos



## Otra formación Natural no forestal (ID 13)

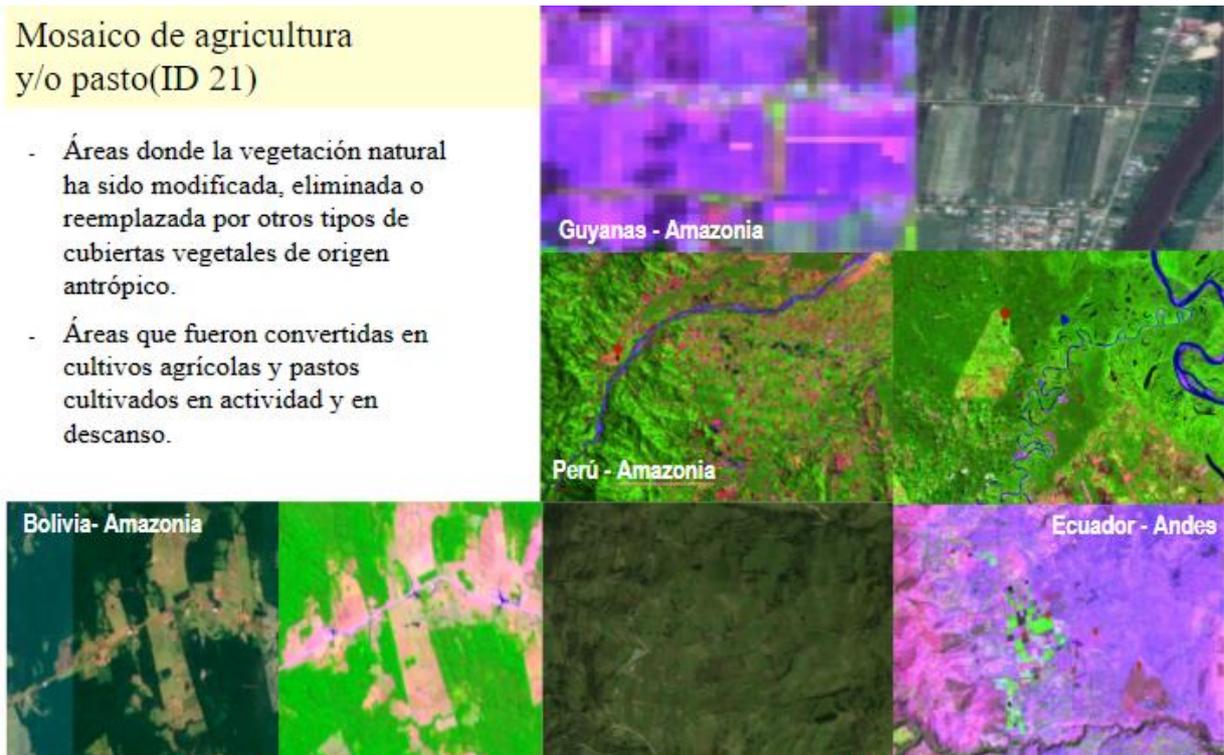
- Arbustales montanos, herbazales tepuyano y alto tepuyano, sabanas arbustivas, vegetación esclerófila sobre dunas.



Nota: Adaptación de la presentación de claves de interpretación para la validación de la colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: MapBiomias Amazonía, 2020.

## Mosaico de agricultura y/o pasto (ID 21)

- Áreas donde la vegetación natural ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de cubiertas vegetales de origen antrópico.
- Áreas que fueron convertidas en cultivos agrícolas y pastos cultivados en actividad y en descanso.



## Área sin vegetación (ID 22)

- Contempla áreas de poca o nula vegetación naturales o de origen antrópico, tales como: Infraestructura urbana; suelos expuestos por extracción forestal o minera y deslizamientos naturales; playas; áreas quemadas; y coberturas no fotosintéticas herbáceas de pastos naturales o cultivados.



Nota: Adaptación de la presentación de claves de interpretación para la validación de la colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: MapBiomias Amazonía, 2020.

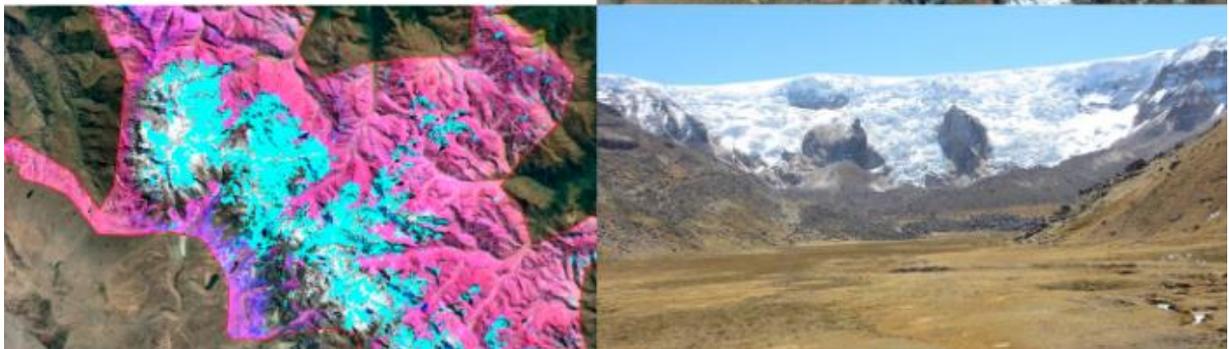
## Río, lago u océano (ID 33)

Es cualquier extensión de agua que se encuentran en la superficie terrestre ya sean naturales como artificiales. Comprende ríos, lagos, represas, depósitos y otros cuerpos de agua.



## Glaciar (ID 34)

- Masa de hielo producto de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve por miles de años. Es la principal fuente de recursos hídricos para las cuencas hidrográficas del país.



Nota: Adaptación de la presentación de claves de interpretación para la validación de la colección 2 del proyecto MapBiomias Amazonía. Fuente: MapBiomias Amazonía, 2020.