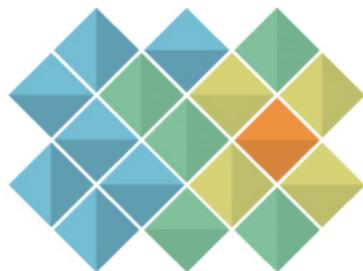


RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN  
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA



MAPBIOMAS  
[AMAZONIA]

*Documento Teórico Base de Algoritmos*

*(ATBD)*

**RAISG - MapBiomas Amazonía - Colección 4**

Versión 1  
Noviembre del 2022

## Resumen Ejecutivo

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. La RAISG genera y difunde conocimientos, datos estadísticos e informaciones socioambientales geoespaciales de la Amazonía, elaborados con protocolos comunes para todos los países de la región, enfocados en una visión integral de la región. La Red está conformada por los siguientes países: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela; e involucra a una amplia gama de especialistas en sensores remotos, geografía, geología, ecología, ingeniería ambiental y forestal, ciencias de la computación, ciencias humanas, periodismo, diseño, entre otras profesiones.

MapBiomass es la iniciativa de una red de colaboración conformada por organismos no gubernamentales, universidades y empresas de Brasil, organizadas con el objetivo de utilizar una tecnología de calidad y de menor costo para producir series anuales de mapas de cobertura y uso del suelo (de 1985 en adelante). Tras dos años de proyecto, en 2017, MapBiomass lanza la primera colección de mapas de cobertura y uso del suelo de Brasil.

Desde el año 2009, la RAISG trabaja en la construcción de mapas de deforestación de la Amazonía aplicando herramientas de procesamiento de datos satelitales cada vez más avanzadas. Es así que, en búsqueda de nuevas alternativas para la automatización de los procesos y la generación de información temporalmente oportuna, en marzo del 2017, la RAISG en acuerdo con la Coordinación General de MapBiomass, crean la iniciativa MapBiomass Amazonía.

El objetivo de este Documento Base Teórico de Algoritmos (ATBD, por sus siglas en inglés) es proporcionar a los usuarios la comprensión de los pasos metodológicos y algoritmos computacionales para producir la Colección 4 de MapBiomass Amazonía, que contempla el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo en la Amazonía, entre los años 1985 y 2021.

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
1.1. Alcance y contenido del documento	5
1.2. La Colección 4	5
1.3. Área de estudio	6
1.4. Aplicaciones	7
<b>2. Información básica y antecedentes</b>	<b>8</b>
2.1 Contexto institucional	8
2.1.1. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada - RAISG	8
2.1.2. Iniciativa RAISG para el mapeo de la deforestación	9
2.1.3. Iniciativa MapBiomass	10
2.2. Distribución de biomas por país	11
2.3 Datos de Percepción Remota	12
2.4. Google Earth Engine y MapBiomass Amazonía	12
2.5. Otras iniciativas de mapeo	13
2.5.1. Fuentes mundiales	13
2.5.2. Fuentes para la región Amazónica	15
2.5.3. Fuentes para otras regiones de Sudamérica	16
<b>3. Metodología</b>	<b>17</b>
3.1 Generación de mosaicos anuales	18
3.1.1. División del espacio de análisis en cartas	18
3.1.2. Parametrización de mosaicos anuales	20
3.1.3. Variables de clasificación o feature space	21
3.2 Clasificación	27
3.2.1. Subregiones de clasificación	27
3.2.2. Leyenda	28
3.2.3. Colecta de muestras	29
3.2.4. Random Forest	30
3.2.5. Temas transversales	30
3.3. Post clasificación	31
3.3.1 Llenado de vacíos de información (Gap Fill)	31
3.3.2 Filtro Temporal	32
3.3.3 Filtro Espacial	33
3.3.4 Filtro de frecuencia	34
3.3.5 Filtro de incidencia	35
3.3.6. Reclasificación	35
3.4. Integración	35
3.5 Mapas de transiciones	37
3.6 Estadísticas	37
<b>4. Validación</b>	<b>38</b>
<b>5. Consideraciones prácticas y desafíos</b>	<b>41</b>

<b>6. Referencias</b>	<b>42</b>
<b>7. Apéndices</b>	<b>43</b>
<b>8. Anexos</b>	<b>44</b>
Anexo 1: Descripción de clases por país y bioma, según la leyenda de la Colección 4 MapBiomias Amazonía	44

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Territorio de la región Pan-Amazónica definida por el límite biogeográfico y los países que la comprenden.
- Figura 2.** Instituciones que conforman la iniciativa MapBiomias Amazonía.
- Figura 3.** Mapa de Biomias definidos en la Amazonía y los países que lo comprenden.
- Figura 4.** Interfaz del Workspace de MapBiomias Amazonía.
- Figura 5.** Síntesis metodológica de la Colección 4 de MapBiomias Amazonía.
- Figura 6.** Grilla de cartas MapBiomias, grilla de imágenes Landsat y límite RAISG.
- Figura 7.** Mapa de Regiones de Mosaicos.
- Figura 8.** Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes.
- Figura 9.** Proceso de generación de mosaicos anuales de imágenes Landsat.
- Figura 10.** Mapa de subregiones de clasificación definidas en la Amazonía y los países que lo comprenden.
- Figura 11.** Esquema de temas transversales aplicados por país
- Figura 12.** Funcionalidad del filtro de Gap Fill en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Figura 13.** Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Figura 14.** Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Figura 15.** Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Figura 16.** Funcionalidad del filtro de incidencia en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Figura 17.** Distribución de puntos muestrales y gráficos agrupados por área de estudio del proceso de validación.

## Lista de Tablas

- Tabla 1.** Área de los países de la cuenca amazónica dentro del límite RAISG.
- Tabla 2.** Biomias en los países dentro del límite RAISG.
- Tabla 3.** Resumen del número de cartas MapBiomias por país y región.
- Tabla 4.** Descripción de bandas y variables empleadas para la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Tabla 5.** Subregiones de clasificación por país y bioma.
- Tabla 6.** Clases de cobertura y uso del suelo de la Colección 4 MapBiomias Amazonía.
- Tabla 7.** Reglas de prevalencia del bioma Amazonia, para la fase de integración.

# 1. Introducción

## 1.1. Alcance y contenido del documento

El objetivo de este documento es describir la base teórica, la justificación y los métodos aplicados para producir mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Amazonía desde el año 1985 hasta 2021 de la Colección 4 de mapas MapBiomias Amazonía.

Este documento cubre los métodos de clasificación de imágenes Landsat (L4, L5, L7 y L8), la arquitectura de procesamiento de imágenes y el enfoque para integrar los biomas y regiones presentes en cada uno de los países dentro del límite de la Amazonía. También se presenta un contexto histórico y antecedentes, así como una descripción general del conjunto de datos de imágenes satelitales y del método de evaluación de precisión aplicado. Los algoritmos y procedimientos específicos aplicados en cada país están descritos en los apéndices. En el caso de Brasil, los datos provienen de la Colección 7, cuyos documentos técnicos se pueden ser encontrados en: <http://mapbiomas.org/>

## 1.2. La Colección 4

La iniciativa MapBiomias Amazonía de la RAISG comenzó en marzo de 2017 con el propósito de apoyar el entendimiento de la dinámica de la cobertura y uso de suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en toda la Amazonía. El proyecto se desarrolla gracias a: i) avances tecnológicos que permiten el procesamiento en la nube de grandes cantidades de datos espaciales mediante algoritmos albergados en la plataforma Google Earth Engine; ii) la implementación de métodos de procesamiento de imágenes enfocados en el monitoreo de LULC de MapBiomias; iii) las organizaciones que forman parte de MapBiomias Amazonía, que con su experiencia llevan a cabo el mapeo de sus territorios; y iv) el apoyo de financiadores visionarios que respaldan el proyecto.

Los productos de MapBiomias Amazonía están compuestos de mapas temáticos anuales de 30 metros de resolución espacial para toda la Amazonía, en su metodología utiliza mosaicos anuales de imágenes de satélite conformadas por capas de información (bandas espectrales, índices derivados, variables físicas); también se obtienen estadísticas derivadas de los mapas por país, departamento, municipio, bioma, cuenca hidrográfica, territorios indígenas y unidades de conservación.

El mapeo de MapBiomias Amazonia hasta la actualidad ha tenido 4 colecciones, las cuales han ido evolucionando en la metodología, abarcando períodos de tiempo mayor y mapeando coberturas más detalladas.

**Colección 1:** Mapeo del 2000 al 2017. Metodología basada en árboles de decisión empíricos. 34 capas de información (7 bandas espectrales y 27 índices derivados). Lanzada en marzo del 2019.

**Colección 2:** Mapeo de 1985 al 2018. Metodología Machine Learning - Random Forest. 81 capas de información (bandas landsat originales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices. Variables físicas). Lanzada en marzo del 2020.

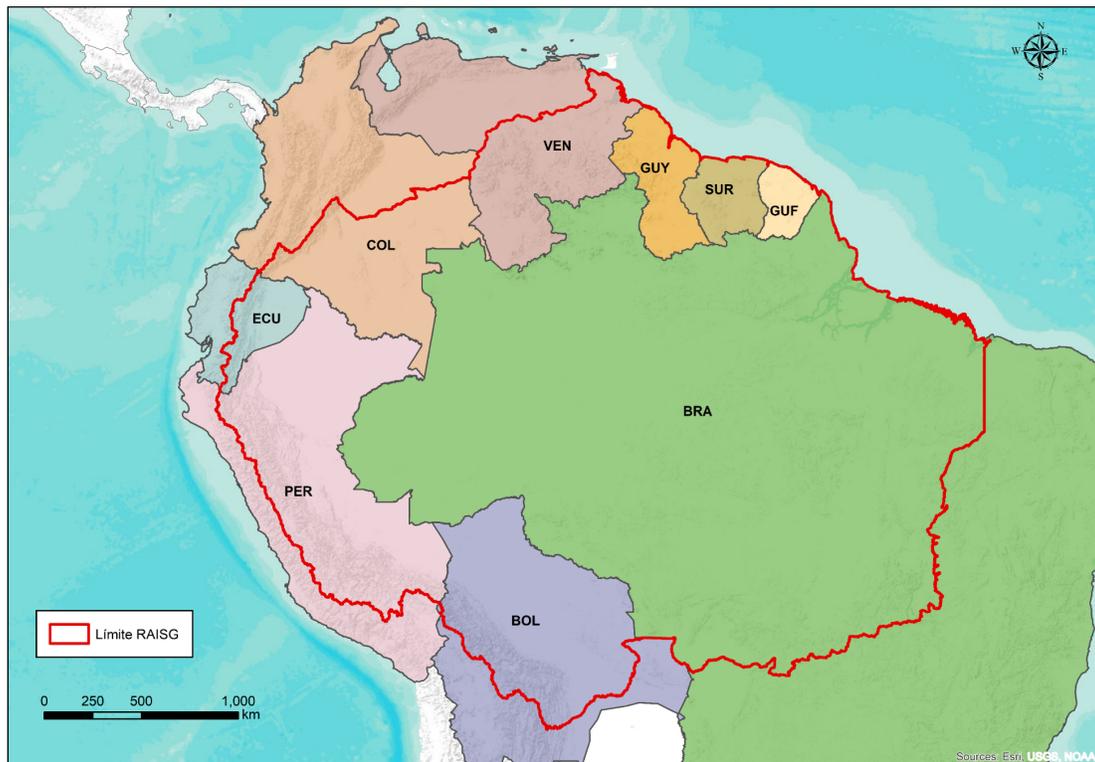
**Colección 3:** Mapeo de 1985 al 2020. Metodología Machine Learning - Random Forest. 141 capas de información (bandas landsat originales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices. Variables físicas). En esta colección a diferencia de las anteriores, se mapeó silvicultura (id: 9) y palma aceitera (id:35). Lanzada en septiembre del 2021.

**Colección 4:** Mapeo de 1985 al 2021. La metodología utilizada fue la misma que la colección 3, con 156 capas de información (bandas landsat originales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices. Variables físicas). En esta colección a diferencia de las anteriores, se utilizó la Landsat Collection 2, la cual presenta la versión más actualizada del reprocesamiento de los archivos de Landsat, con varias mejoras en la calidad de las imágenes. En la colección 4 se amplió la lista de clases mapeadas, añadiendo las capas de agricultura y de pastos.

El proyecto cuenta con una plataforma de consulta pública web (<http://amazonia.mapbiomas.org>) con fotos, mapas y la posibilidad de generar estadísticas sobre el uso del suelo y sus cambios a diferentes escalas espaciales, cuenca, país, departamento, municipio, áreas protegidas entre otras unidades de análisis.

### 1.3. Área de estudio

El ámbito geográfico de la iniciativa MapBiomas Amazonía cubre una extensión total de 8'470,209 Km<sup>2</sup>, y corresponde a los territorios de la cuenca del río Amazonas de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guayana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela (Figura 1). Además de 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.** Territorio de la región 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).

**Tabla 1.** Área de los países de la cuenca amazónica dentro del límite RAISG

País	Área (km <sup>2</sup> )*	Porcentaje
Bolivia	711,964	8.4
Brasil	5,218,971	61.9
Colombia	503,457	6.0
Ecuador	131,460	1.6
Guyana	210,095	2.5
Guyana Francesa	83,843	1.0
Perú	962,903	11.4
Surinam	145,844	1.7
Venezuela	468,846	5.6
Total	8,437,384	100.0

\*Área calculada con Google Earth Engine. Los valores pueden diferir de las áreas calculadas con herramientas de SIG utilizando proyecciones cartográficas específicas.

#### 1.4. Aplicaciones

Los productos de MapBiomás Amazonía muestran un potencial en el monitoreo anual de áreas amenazadas por la conversión de la cobertura y con riesgo de deforestación. Asimismo, la serie temporal de mapas pueden ser de utilidad como complemento de estudios de estimación de emisión de gases de efecto invernadero por cambio de uso y cobertura del suelo en la región Amazónica. Otros ejemplos de aplicación son la caracterización de dinámicas de uso del suelo, la cuantificación de transiciones de cobertura y uso del suelo, de pérdidas y ganancias de bosques, el monitoreo de la regeneración, de cambios en los recursos hídricos, de la expansión urbana y agropecuaria, la planificación regional, y la gestión de áreas protegidas.

Los esfuerzos y productos existentes de mapeo de cobertura, uso y cambio de uso del suelo varía de un país a otro en la región amazónica, dificultando comparaciones regionales, por diferencias en la frecuencia temporal de mapeo, en la resolución espacial, o por el simple hecho de no existir en ciertos casos. MapBiomás Amazonía no solo complementa los esfuerzos ya existentes nacional y globalmente, pero trae consigo ventajas adicionales como son: 1) los mapas de MapBiomás Amazonía han sido construidos empleando la colección completa de datos Landsat (35 años) con una temporalidad anual; 2) el producto entero comparte una misma metodología, leyenda, resolución temporal y espacial, permitiendo así comparaciones regionales; 3) el producto, sin bien tiene un alcance regional, es preparado por expertos conocedores de las realidades nacionales, generando un producto con miras a aplicaciones de carácter local; 4) MapBiomás pone a disposición del público sus métodos, herramientas y productos a través de una plataforma de consulta pública en internet.

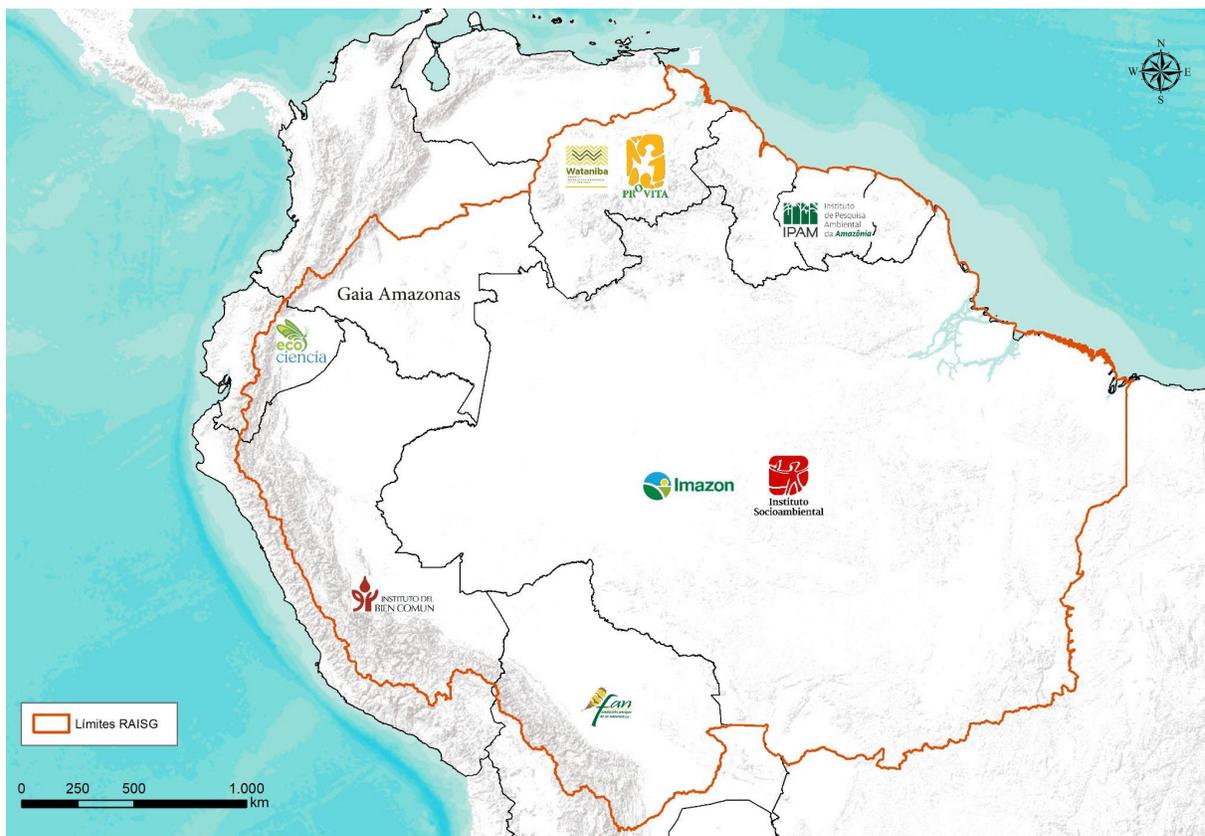
## 2. Información básica y antecedentes

### 2.1 Contexto institucional

#### 2.1.1. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada - RAISG

La Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) es un colectivo de organizaciones de la sociedad civil de los países amazónicos (Figura 2) dedicado a la producción de información accesible, cuyos análisis están orientados a los tomadores de decisión y a la sociedad civil, a fin de apoyar a la construcción de un futuro sostenible y al fortalecimiento de la diversidad socioambiental de la Amazonía. Actualmente, la RAISG tiene representantes institucionales en seis países amazónicos:

- Bolivia: Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN, [www.fan-bo.org](http://www.fan-bo.org))
- Brasil: Instituto Socioambiental (ISA, [www.socioambiental.org](http://www.socioambiental.org)) e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon, [amazon.org.br](http://amazon.org.br))
- Colombia: Fundación Gaia Amazonas (FGA, [www.gaiamazonas.org](http://www.gaiamazonas.org))
- Ecuador: Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos (EcoCiencia, [www.ecociencia.org](http://www.ecociencia.org))
- Perú: Instituto del Bien Común (IBC, [www.ibcperu.org](http://www.ibcperu.org))
- Venezuela: Provita ([www.provita.org.ve](http://www.provita.org.ve)) y Wataniba ([www.watanibasocioambiental.org](http://www.watanibasocioambiental.org))



**Figura 2.** Instituciones que conforman la iniciativa MapBiomias Amazonía. \*Para propósitos de la iniciativa MapBiomias Amazonía, los mapas de Guyana, Guyana Francesa y Surinam fueron elaborados mediante una consultoría liderada por Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, con la colaboración de Solved.

La RAISG no tiene una figura legal y está basada en un modelo *sui generis* de gobernanza. La Coordinación General cumple el papel de dinamizar la red, mantener las comunicaciones, identificar aliados, buscar financiamiento, programar las actividades rutinarias, garantizar la toma de decisiones en grupo y el establecimiento de alianzas, entre otras. La Junta Directiva (integrada por los coordinadores en cada institución miembro) es responsable, en última instancia, de la toma de decisiones. También existe el Grupo Técnico, responsable directamente por el desarrollo de las actividades. Este equipo viene creciendo y complementándose conforme la RAISG ha abordado nuevos temas de trabajo. Actualmente sus miembros se han especializado y se dividen por grupos temáticos, además, varios de los coordinadores son también técnicos en actividades específicas.

Se destacan dos grandes acuerdos políticos que son vitales para la Red: uno es que no se separa la discusión y la decisión política de la técnica, y la otra es que el presupuesto es elaborado en conjunto, tomando como base los planes estratégicos, en un proceso transparente a todos.

A mediano plazo, se elaboran planes estratégicos que trazan metas, actividades y productos a ser desarrollados durante trienios. El primer plan fue elaborado para el período entre 2010-2012; los siguientes han sido: 2013-2015, 2016-2020 y 2021-2024. La planificación de actividades y la toma de decisiones se realizan en reuniones generales anuales, con la participación presencial de todos los miembros de la red. Además de reuniones técnicas con propósitos específicos, generalmente para capacitación y la elaboración de los productos.

#### *2.1.2. Iniciativa RAISG para el mapeo de la deforestación*

Desde el año 2009, la RAISG ha venido trabajando en la elaboración de mapas de deforestación de la Amazonía a partir de imágenes de los satélites Landsat. El trabajo se inició con la composición de un Grupo Técnico de Deforestación conformado por un representante de cada una de las instituciones miembros de la RAISG. Se identificó al Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) como el grupo tutor, quienes proporcionaron la metodología y herramientas técnicas, a través del software IMGTools (Souza & Siqueira, 2013).

IMGTools fue utilizado para la generación de los mapas de deforestación de la RAISG. La metodología consideró al año 2000 como la línea base y se analizaron los años 2005, 2010 y 2013 para detectar pérdida de bosque. Con base en los resultados obtenidos se construyeron mapas de deforestación. Posteriormente, la herramienta IMGTools migró a la plataforma Google Earth Engine (GEE), donde se construyó el mapa de deforestación del periodo 2013 - 2015. Este trabajo le permitió a la RAISG brindar al público mapas de deforestación de la Amazonía generados con una sola metodología estandarizada para toda la región, apoyada en la experticia local de los especialistas de cada país.

El Grupo Técnico de Deforestación de la RAISG se ha reunido periódicamente de manera virtual y presencial con el fin de proponer mejoras y consolidar los resultados del análisis de la deforestación para todos y cada uno de los países amazónicos, reforzando dichas reuniones con talleres técnicos para elaboración de productos y mejoras de la metodología con el fin de alcanzar resultados con procesos cada vez más automatizados.

Actualmente, la RAISG ha generado tres series históricas anuales de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo: Colección 1 que comprende todos los años entre 2000 y 2017; la Colección 2, para todos los años entre 1985 y 2018 y la Colección 3 para los años 1985 a 2020.

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 con que se transforma el paisaje y para comprender procesos de cambio y su incidencia. Aplicando un marco común de análisis, basado en conceptos y herramientas estandarizadas, llamado Protocolo RAISG, que facilita el análisis comparativo entre los diferentes países amazónicos. La RAISG ha realizado diferentes publicaciones sobre deforestación en la Amazonía para los periodos 2000-2005, 2005-2010, 2010-2015 y 2000-2018; los cuales pueden ser descargados de la página web de RAISG: <https://www.amazoniasocioambiental.org>

### 2.1.3 Iniciativa MapBiomias

La Red Global MapBiomias (MapBiomias Network) actualmente está compuesta por seis iniciativas que mapean la cobertura y el uso de la tierra en Brasil, en el Amazonas, Chaco, Bosque Atlántico Trinacional, Pampa Trinacional y también en Indonesia. Estas iniciativas son redes colaborativas multi institucionales, conformada por ONG, universidades y empresas de tecnología que utilizan procesamiento en la nube y clasificadores automatizados desarrollados y operados con la plataforma Google Earth Engine para contribuir a la comprensión de los cambios en la cobertura y uso del suelo. Todos los datos y métodos generados por el proyecto son públicos, transparentes y están disponibles en las plataformas <https://mapbiomas.org/>.

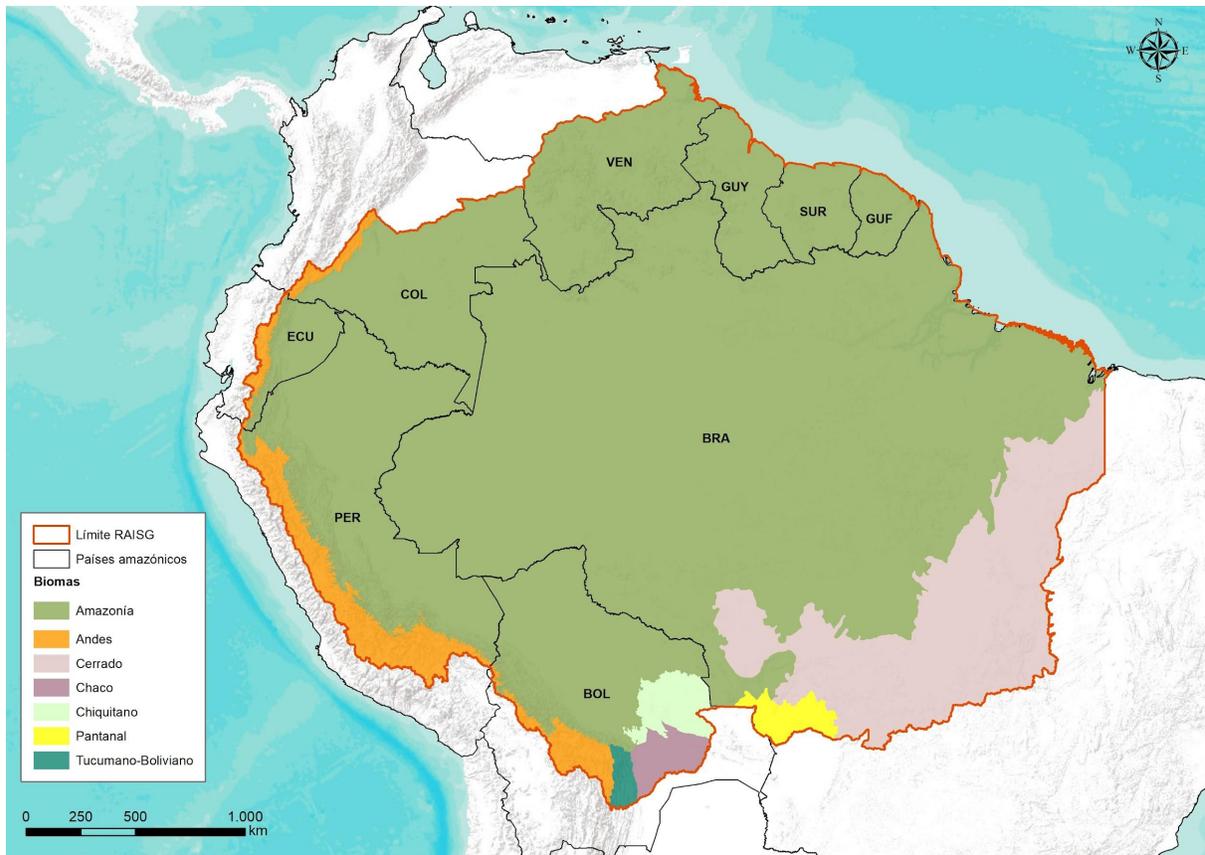
Este año la iniciativa se ha expandido a Chile y para toda la extensión del país en: Argentina, Bolivia, Colombia, Paraguay, Ecuador, Perú y Venezuela, todos ellos involucrando a instituciones locales. El objetivo principal es producir colecciones de mapas anuales de cobertura y uso del suelo que reflejan la dinámica de las transformaciones en los diferentes biomas en América del Sur y otras regiones tropicales y subtropicales.

El objetivo de la Red Global MapBiomias es producir y promover el uso de información calificada para la custodia del uso y cobertura del suelo en América del Sur y otras regiones tropicales y subtropicales. Esta Red presenta una serie de prácticas comunes en todas sus iniciativas y productos de MapBiomias:

- Plataforma de datos fácil de usar, de fácil acceso y uso para aplicaciones
- Transparencia metodología y tecnología
- Datos abiertos y gratuitos
- Experiencia local y conocimiento temático de Uso y Cobertura del Suelo
- Procesamiento en la nube ( Plataformas Google Earth Engine)
- Conocimientos técnicos en teledetección y programación
- Independencia para la publicación de datos
- Colecciones que permiten una evolución y mejora constante
- Redes distribuidas y descentralizadas
- Espíritu colaborativo
- Comprometidos con la solidez técnico-científica
- Promoción del desarrollo de capacidades

## 2.2. Distribución de biomas por país

La Amazonía, comprendida por el territorio dentro del límite RAISG (sección 1.3), presenta 6 regiones con características diferenciadas de cobertura, tanto fenológicas como orográficas que el proyecto RAISG-MapBiomas denominan **biomas** (Tabla 2, Figura 3).



**Figura 3.** Mapa de Biomas definidos en la Amazonía y los países que lo comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 4 MapBiomas Amazonía.

**Tabla 2.** Biomas en los países dentro del límite RAISG.

Bioma	Área (km <sup>2</sup> )	%	País/es que lo componen
Amazonía	6,958,395	82.5	Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam, Venezuela
Andes	303,797	3.6	Bolivia, Ecuador, Colombia, Perú
Cerrado	950,035	11.3	Brasil
Chaco	64,567	0.8	Bolivia
Chiquitano	82,028	1.0	Bolivia
Pantanal	53,557	0.6	Brasil
Tucumano boliviano	25,564	0.3	Bolivia

## 2.3 Datos de Percepción Remota

Los datos para mapeo utilizados por la iniciativa MapBiomás Amazonía para su Colección 4 fueron obtenidos de las imágenes satelitales del periodo 1985 a 2021 de los sensores Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) y Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS), a bordo de los satélites Landsat 4 (L4, para cobertura de vacíos de información al inicio de la serie y en 1988 principalmente), Landsat 5 (L5, para los años 1985-2012 de la serie), Landsat 7 (L7, para los años 2000-2022) y Landsat 8 (L8, 2013 en adelante). Las imágenes de reflectancia de superficie (Surface Reflectance) pertenecen a la Colección 2 del catálogo de datos Landsat<sup>1</sup> con nivel de corrección Tier 1, que fueron sometidas a calibración radiométrica, ortorrectificación basada en puntos de control en tierra y modelos de elevación digital para asegurar un registro a nivel de píxel y una corrección atmosférica. Las colecciones de imágenes Landsat de 30 metros de resolución espacial fueron accedidas a través de la plataforma Google Earth Engine, provistas por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

En las colecciones anteriores de MapBiomás Amazonía se utilizaron las imágenes de la Colección 1 del catálogo de datos Landsat. La Colección 1 es la más antigua y la Colección 2 de Landsat representa la más avanzada con varias mejoras. Una característica principal de la Colección 2 es el aumento sustancial en la precisión absoluta de geolocalización del conjunto de datos de referencia terrestre global utilizado en el flujo de procesamiento de Landsat Nivel-1. Además, la Colección 2 incluye fuentes de modelado de elevación digital global actualizadas, actualizaciones de calibración y validación, así como productos basados en escenas de temperatura de superficie y reflectancia de superficie global de Nivel 2 desde 1982 hasta el presente. Es por ello que para esta colección de MapBiomás Amazonía se tomó la decisión de usar la Colección 2 del catálogo de datos Landsat; además a partir de diciembre 2022 se discontinuará el acceso a la Colección 1 de Landsat.

## 2.4. Google Earth Engine y MapBiomás Amazonía

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma en la nube para el análisis científico de conjuntos de datos geoespaciales a escala global. Los principales componentes de GEE son: 1) Catálogos de datos de sensoramiento remoto públicamente disponibles, 2) Infraestructura de procesamiento computacional en la nube a escala petabyte, 3) APIs para JavaScript y Python para interactuar con los servidores del GEE, y 4) y un ambiente de desarrollo integrado (IDE) en línea que permite el desenvolvimiento de aplicaciones mediante scripts<sup>2</sup> denominado el Code Editor<sup>3</sup>.

Los componentes mencionados hacen de GEE la herramienta idónea para el procesamiento de grandes cantidades de datos que requiere la clasificación de imágenes satelitales con fines de mapeo de la cobertura, uso y cambio del uso del suelo. Adicionalmente, GEE provee un ambiente que facilita la colaboración entre equipos regionales (como en el caso de la RAISG) y la aplicación de metodologías compartidas a un mismo set de datos, y la replicación de procesos por terceros interesados en evaluar conceptos o metodologías.

---

<sup>1</sup> <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat/>

<sup>2</sup> <https://developers.google.com/earth-engine/>

<sup>3</sup> [code.earthengine.google.com](https://code.earthengine.google.com)

La cadena de procesamiento de MapBiomos está basada enteramente en tecnología de Google y, como tal, la iniciativa MapBiomos Amazonía se ha apoyado en GEE para 1) procesar imágenes satelitales en infraestructura computacional en la nube, 2) desarrollar códigos (scripts) en Javascript y Python, 3) almacenar los datos generados usando almacenamiento en la nube, y 4) 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 accesible en <http://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/map> (Figura 4).



**Figura 4.** Interfaz del dashboard de MapBiomos Amazonía. Permite definir áreas de trabajo a escala municipal, provincial o estatal y a nivel de bioma, entre otros, donde es posible consultar la información derivada de los mapas para los años de interés.

## 2.5. Otras iniciativas de mapeo

En los últimos años se han desarrollado diversas herramientas para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en la Amazonía, algunas de ellas de alcance global, con enfoques cada vez más robustos. Todos tienen en común su interés en aportar en uno de los temas más urgentes actualmente: conocer el estado actual de los tipos de cobertura terrestre y el monitoreo de los cambios en los mismos. Estas iniciativas han aportado a la detección de la deforestación, el monitoreo de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y a fortalecer la detección de la degradación forestal, la conservación, la detección de focos de calor, etc. A continuación enlistamos las iniciativas más relevantes.

### 2.5.1. Fuentes mundiales

- **GLC 2000 - Global Land Cover mapping for the year 2000**, el proyecto fue una asociación internacional de unos 30 grupos de investigación coordinados por el Centro Común de Investigación de la Comisión

Europea, con el objetivo de producir una base de datos global de cobertura de la tierra para el año 2000. La base de datos contiene mapas de cobertura del suelo con leyendas de mapas detallados y relevantes a nivel regional y un producto global que combina todas las clases regionales en una leyenda coherente.

- **Intact Forest Landscapes (IFL)**, es una base de datos espacial global a escala 1: 1,000,000, que muestra la extensión de los paisajes forestales intactos (IFL) para los años 2000, 2013 y 2016. El primer mapa global de IFL, del año 2000, se preparó en 2005-2006 bajo el liderazgo de Greenpeace, con contribuciones de: Biodiversity Conservation Center, International Socio-Ecological Union y Transparent World (Rusia), Luonto Liitto (Finnish Nature League), Forest Watch Indonesia, y Global Forest Watch, una red iniciada por el Instituto de Recursos Mundiales. Posteriormente se generó la versión del 2013 y por último se actualizó el mapa a 2016 con el apoyo de la Universidad de Maryland, Wildlife Conservation Society, Greenpeace y Transparent World.
- **Global Forest Watch (GFW)** - En colaboración entre el laboratorio GLAD (Global Land Analysis & Discovery) en la Universidad de Maryland, Google, USGS y NASA, mide las áreas de pérdida de cobertura arbórea en toda la Tierra (excepto la Antártida y otras islas del Ártico) en resolución de 30 × 30 metros. Su proyecto se centra en el desarrollo de productos de datos globales de cambio de la cubierta de árboles basados en imágenes satelitales de Landsat, disponibles en la plataforma web Global Forest Watch 2.0. Incluye el cambio anual de cobertura de bosques (ganancias y pérdidas) desde el 2000 al 2020.
- **GlobeLand30**, es una iniciativa del National Geomatics Center of China, que comprende conjuntos de datos espaciales recopilados a una resolución de 30 metros. Esta colección considera diez tipos de cobertura terrestre, incluidos bosques, superficies artificiales y humedales, para los años 2000 y 2010. Se extrajeron a partir de más de 20,000 imágenes satelitales de Landsat y del satélite chino HJ-1.
- **ESA CCI Land cover**, la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) y la Iniciativa de Cambio Climático (CCI por sus siglas en inglés) pone a disposición mapas globales anuales de cobertura terrestre, que describen la superficie de la tierra en 22 clases. La serie de mapas globales anuales de cobertura terrestre abarcan el período desde 1992 a 2018.
- **CORINE Land Cover**, el inventario CORINE Land Cover (CLC) se inició en 1985 (año de referencia 1990). Se han realizado actualizaciones en 2000, 2006, 2012 y 2018. Consiste en un inventario de cobertura terrestre en 44 clases. CLC utiliza una Unidad Mínima de Mapeo (MMU) de 25 hectáreas (ha) para fenómenos de área y un ancho mínimo de 100 m para fenómenos lineales. Las series de tiempo se complementan con capas de cambio, que destacan los cambios en la cobertura del suelo con una MMU de 5 ha.
- **ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2**: Esta capa muestra un mapa global de uso del suelo / cobertura del suelo (LULC) del año 2020. El mapa se deriva de imágenes ESA Sentinel-2 con una resolución de 10 metros y contiene 10 clases. Este mapa fue producido por un modelo de aprendizaje profundo entrenado con más de 5 mil millones de píxeles Sentinel-2 etiquetados a mano, muestreados en más de 20,000 sitios. distribuidos en los principales biomas del mundo.
- **ESA WorldCover 2020 y 2021**: Es un producto de cobertura terrestre global de referencia con una resolución espacial de 10 m, generado a partir de imágenes de Sentinel-2 y Sentinel-1 con 10 clases de cobertura terrestre y una precisión general de 75%. La leyenda incluye 11 clases genéricas que describen adecuadamente la superficie terrestre: "Cobertura arbórea", "Matorral", "Pastizales", "Tierras de cultivo", "Construido", "Vegetación desnuda/escasa", "Nieve y hielo" , "Cuerpos de agua permanentes", "Humedal herbáceo", "Manglares" y "Musgos y líquenes".

- **Dynamic World** es un conjunto de datos de cobertura de suelo global de uso de la tierra con una resolución de 10 m casi en tiempo real, generado a partir de imágenes de Sentinel-2, producido mediante aprendizaje profundo, disponible gratuitamente y con licencia abierta. La leyenda presenta las probabilidades por píxel en 9 clases de cobertura terrestre: Agua, Formación forestal, arbusto y matorral, herbazales, vegetación inundables, cultivos, construcciones, suelo desnudo, nieve y hielo. Estos datos son el resultado de una asociación entre Google y el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) para producir un conjunto de datos dinámicos del material físico en la superficie de la Tierra.

### 2.5.2. Fuentes para la región Amazónica

- **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean**, presenta y esboza la base conceptual para una unidad de clasificación de los sistemas ecológicos. Estos representan grupos recurrentes de comunidades biológicas que se encuentran en entornos físicos similares y están influenciados por procesos ecológicos dinámicos similares, como incendios o inundaciones. El objetivo fue proporcionar una unidad de clasificación de "mesoescala" que sea fácilmente mapeable, a menudo a partir de imágenes de satélites, y fácilmente identificable en el campo. El proyecto fue desarrollado por NatureServe y sus programas miembros, con fondos de The Nature Conservancy, completando una clasificación funcional de los sistemas ecológicos terrestres en América Latina y el Caribe. El informe resume los casi 700 sistemas ecológicos que actualmente se clasifican y describen, enfatizando la porción natural del paisaje.
- **Land Cover Map Of South America**. Mapa digital de la cobertura terrestre de América del Sur con base a imágenes satelitales tomadas entre 1995 y el año 2000. La escala de mapeo tiene una resolución espacial de 1 km. Este mapa se produjo como parte del proyecto Global Land Cover - "GLC 2000" .
- **Mapa de cobertura terrestre de América Latina y el Caribe en el marco del proyecto SERENA**, es un mapa de cobertura terrestre para América Latina y el Caribe (ALC) para el año 2008. Fue desarrollado en el marco del proyecto Red Latinoamericana de Monitoreo y Estudio de Recursos Naturales (SERENA). El mapa de cobertura del suelo SERENA para ALC integra: 1) la experiencia local de los miembros de la red SERENA para generar los datos de capacitación y validación, 2) una metodología para el mapeo de la cobertura del suelo basada en árboles de decisión que utilizan series de tiempo MODIS y 3) estimaciones de membresía de clase para tener en cuenta los problemas de heterogeneidad de píxeles.
- **Deforestación en la Amazonía**, estudio realizado por RAISG, que analiza las tendencias históricas y recientes de la deforestación, por quinquenio desde el 2000 al 2015. El dato de deforestación fue producido por los socios de la RAISG utilizando una metodología propia, estandarizada, que permitió elaborar análisis a nivel regional, sin dejar de lado las diferencias nacionales. El tema se analiza en diferentes recortes: toda la Amazonía, la Amazonía de cada país, las Áreas Naturales Protegidas, los Territorios Indígenas y la escala de cuencas hidrográficas.
- **Mapbiomas Amazonia Colección 1**, es un estudio a partir de imágenes de satélite Landsat que generó mapas anuales de cobertura y uso del suelo en la Amazonía, para el período 2000 a 2017, con una resolución espacial de 30m. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.
- **Mapbiomas Amazonia Colección 2**, es la continuación de la Colección 1, ampliando el número de clases de cobertura y uso y el período de 1985 a 2018. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.

- **Mapbiomas Amazonia Colección 3**, es la continuación de la Colección 2, ampliando el número de clases de cobertura y uso a 12 clases y el período de 1985 a 2020. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.

### *2.5.3. Fuentes para otras regiones de Sudamérica*

- Josse C., Cuesta F., Navarro G., Barrena V., Cabrera E., Chacón-Moreno E., Ferreira W., Peralvo M., Saito J. y Tovar A. 2009. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDCUNALM, RUMBOL SRL. Lima.

### 3. Metodología

La cadena de procesamiento adoptada para la generación de la Colección 4 MapBiomos Amazonía se encuentra sintetizada en la Figura 5 y es detallada en las siguientes secciones: Generación de mosaicos anuales (sección 3.1), Clasificación (sección 3.2), Post clasificación (sección 3.3) y Validación (sección 3.4).

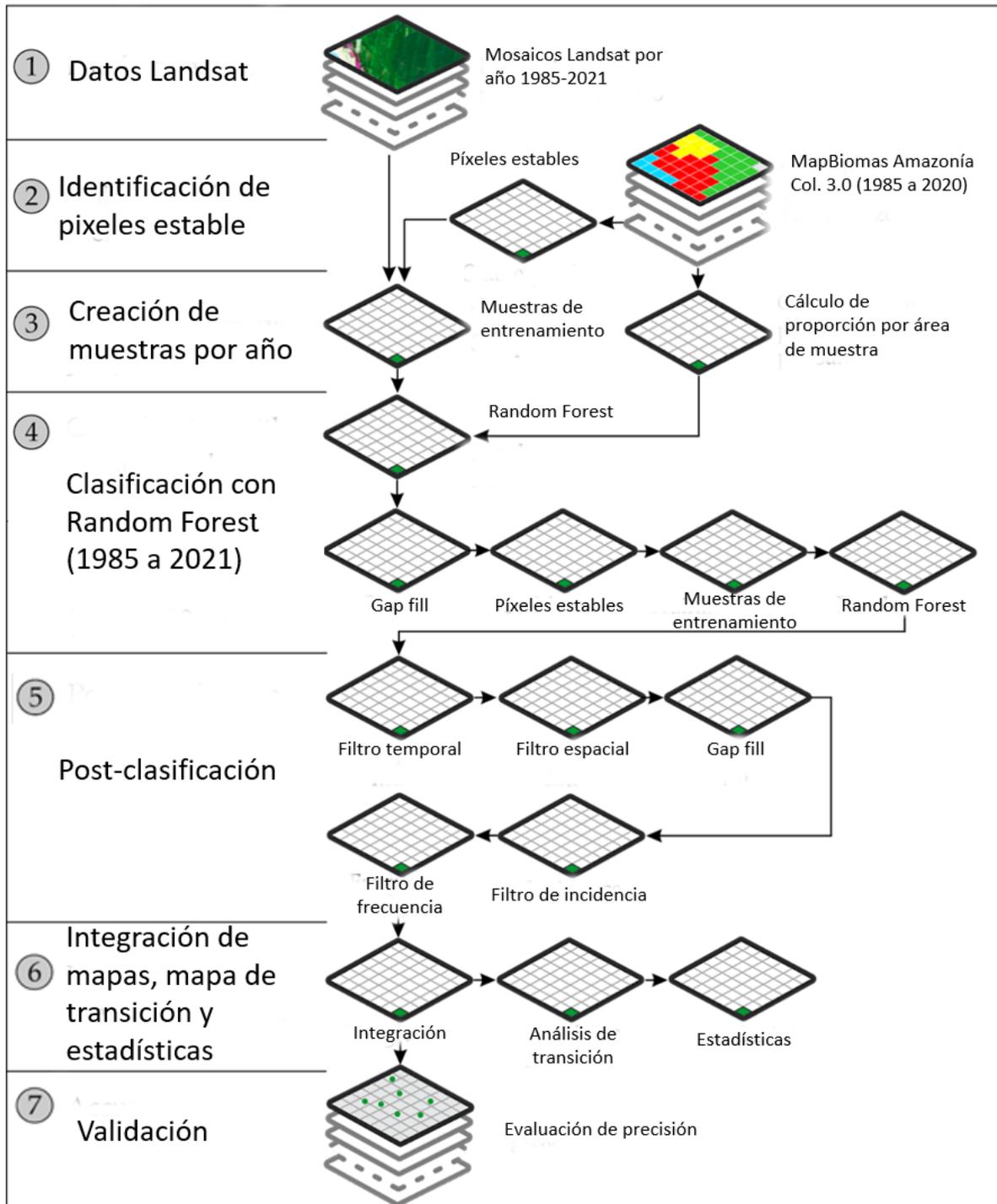


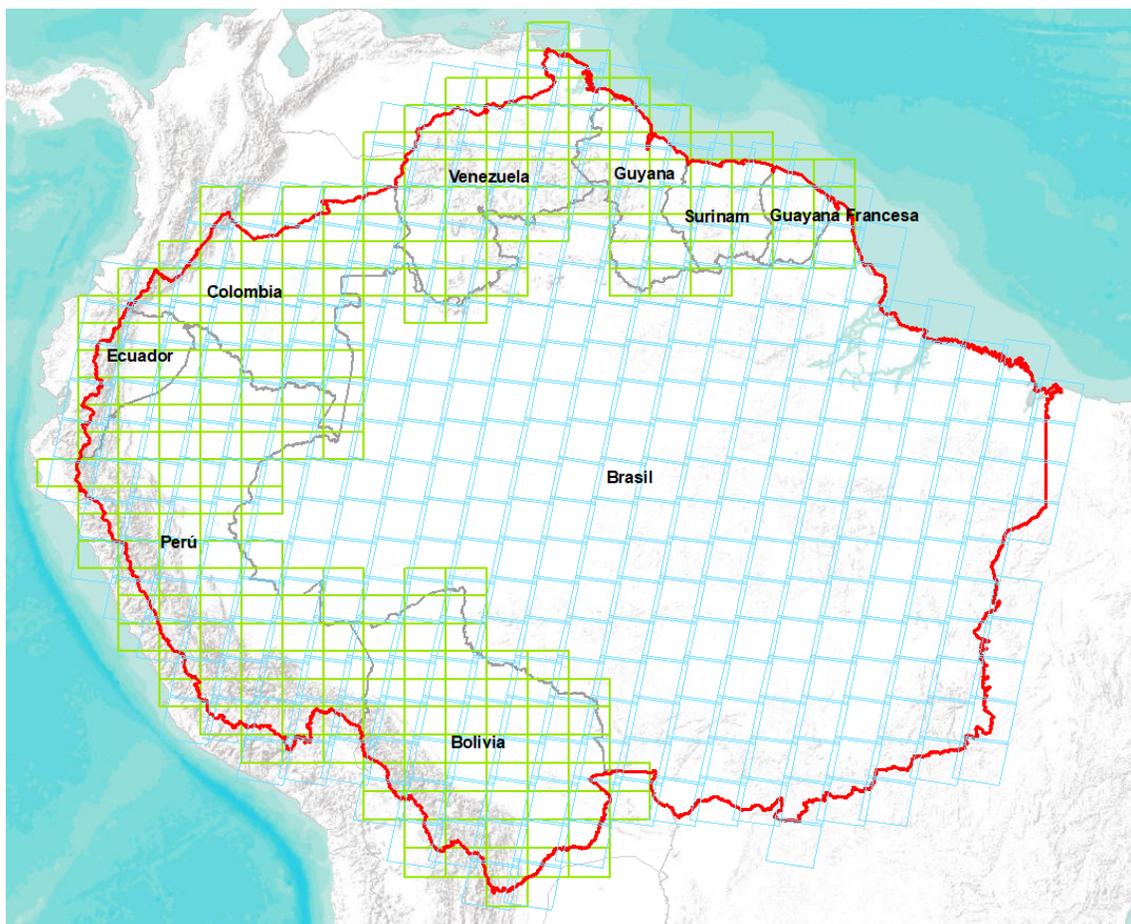
Figura 5. Síntesis metodológica de la Colección 4 de MapBiomos Amazonía.

### 3.1 Generación de mosaicos anuales

#### 3.1.1. División del espacio de análisis en cartas

La metodología de MapBiomás divide el área del proyecto en una grilla de cartas regulares definidas con base a la grilla de las Cartas Internacionales del Mundo a la Millonésima, a escala de 1:250.000. Cada carta rectangular cubre un área de 1°30' de longitud por 1° de latitud. Un total de 653 cartas cubren el territorio de la Amazonía.

La división regular del espacio producto de la aplicación de la grilla de Cartas Internacionales, implica que cada carta requiera de una combinación total o parcial de imágenes Landsat, dado que la grilla de imágenes Landsat es oblicua a la grilla de cartas de MapBiomás (Figura 6).



**Figura 6.** Grilla de cartas MapBiomás (verde), grilla de imágenes Landsat (azul) y límite RAISG (rojo).

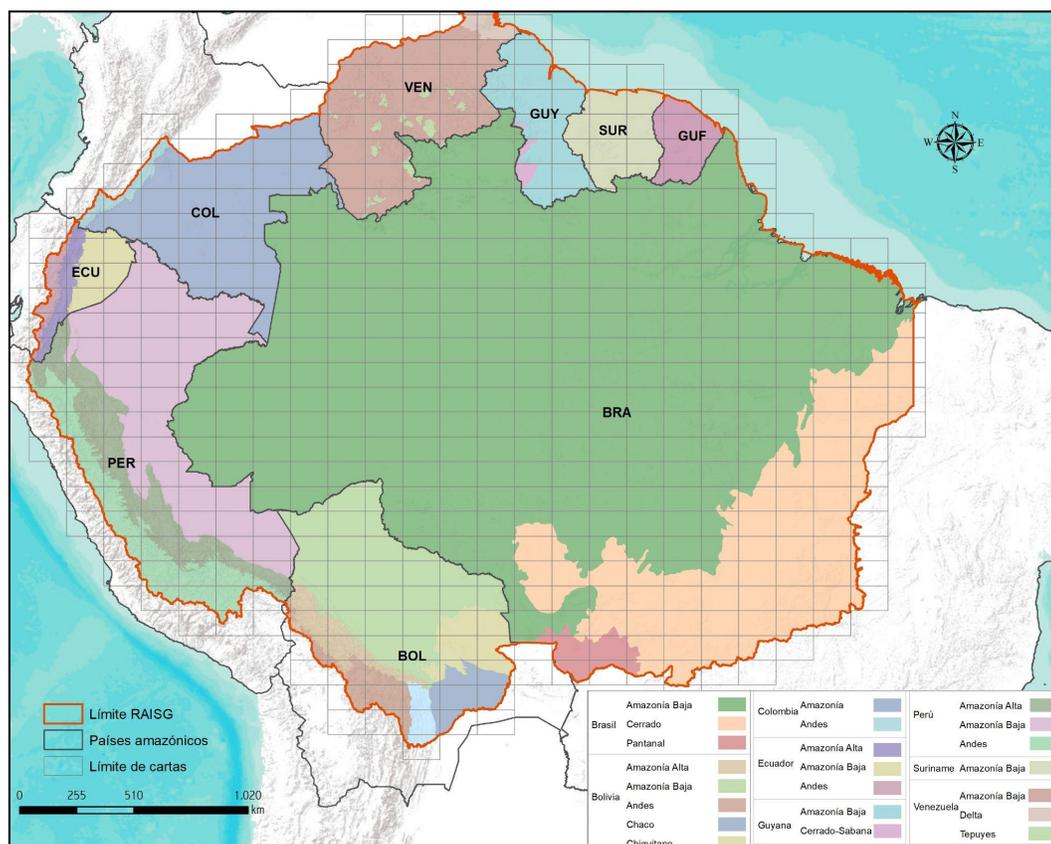
Fue imprescindible subdividir las cartas por regiones<sup>4</sup> (Figura 7) para facilitar la construcción de los mosaicos mediante una parametrización ajustada a las especificidades de cada porción. Como consecuencia, se generaron mosaicos anuales de píxeles de imágenes Landsat independientes para cada carta o subdivisión, cada uno de los cuales fue procesado por separado. La tabla 3 resume el número de cartas existentes por país (sin subdivisión), el número final de subdivisiones (cartas/región) y el total de mosaicos procesados y generados.

<sup>4</sup> Las “**regiones de mosaicos**” se usan específicamente en la construcción de mosaicos y son diferentes a las “**regiones de clasificación**” que son usadas específicamente para el proceso de clasificación.

**Tabla 3.** Resumen del número de cartas MapBiomos por país y región

País	Cartas	Regiones	Cartas/Región	Total de mosaicos (*37 años)
Bolivia	61	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano	101	3737
Colombia	47	Amazonía Andes	40 7	1961
Ecuador	16	Amazonía Andes	29	1073
Guyana	22	Amazonía	26	962
Guyana Francesa	12	Amazonía	12	444
Perú	83	Amazonía, Andes	122	4514
Surinam	17	Amazonía	17	629
Venezuela	44	Amazonía	68	2516
<b>Total</b>	<b>304</b>		<b>422</b>	<b>15836</b>

\*Un total de 527 cartas cubren el territorio de la Amazonía. La porción correspondiente a Brasil está cubierta por 346 cartas.



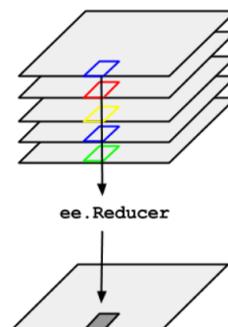
**Figura 7.** Mapa de Regiones de Mosaicos

### 3.1.2. Parametrización de mosaicos anuales

Un mosaico anual es la agregación de píxeles de varias imágenes Landsat a partir de los que se genera un mosaico representativo para un año, construido a partir de los siguientes parámetros<sup>5</sup>:

- ID: Identificador único de la unidad carta-región
- Año: Año de la serie (1985 a 2021) al que corresponde el mosaico.
- Carta: Código identificador de la carta
- Fecha inicial/ Fecha final: Periodo del año (fecha de inicio y final) para la selección de imágenes del catálogo de datos de imágenes Landsat de Google Earth Engine.
- Sensor: El satélite y su respectivo sensor: Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI o una combinación de Landsat 5 y Landsat 7.
- Nubosidad: Porcentaje máximo de cobertura de nubes aceptado de cada imagen Landsat que será usado para construir el mosaico de imágenes. Este dato proviene de la metadata de las imágenes Landsat.
- Blacklist: Imágenes que por su calidad son excluidas de la construcción del mosaico.

Los parámetros de construcción de mosaicos anuales son definidos por el intérprete y representan los criterios de selección de imágenes disponibles en la Colección de datos Landsat a partir de los cuales se construye el mosaico anual. Las imágenes seleccionadas por año fueron *reducidas* a una imagen individual, o mosaico anual, empleando operadores llamados *reductores* existentes en Google Earth Engine, como se ilustra en la Figura 8.



**Figura 8.** Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes (Google, 2020<sup>6</sup>).

Al momento de parametrizar los mosaicos se consideró que se puede alcanzar valores de precisión mayores al utilizar mosaicos de imágenes satelitales cuyos datos cuenten con la menor cantidad de ruidos. Es por ello que se buscó que cada mosaico tenga la menor presencia de nubes e interferencias posible y la mayor extensión de cobertura de datos Landsat disponible dentro del periodo definido. En casos excepcionales se dio el caso de que no hubo imágenes disponibles para el período seleccionado, donde se optó por extender el periodo de búsqueda de imágenes.

Nubes y sombras de nubes son enmascaradas previamente para que únicamente píxeles libres de nubes y sombra de nubes sean seleccionados de las imágenes disponibles. Los métodos de enmascaramiento de nube y sombra de nube fueron el Cfmask y CloudScore.

<sup>5</sup> Cada país evaluó y definió un período óptimo del año tomando como criterios: 1) la disponibilidad o cobertura de datos, 2) el contraste espectral entre clases y 3) las características fenológicas de la cobertura vegetal en diferentes momentos del año.

<sup>6</sup> Tomado de: [https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers\\_image\\_collection](https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_image_collection)

### 3.1.3. Variables de clasificación o feature space

Se calcularon variables (*feature space*) a partir del mosaico anual que representan los insumos del proceso de clasificación. Las bandas Landsat, junto con las variables de clasificación se encuentran consolidados en archivos ráster compuestos por 156 bandas en total<sup>7</sup> que incluyen: las bandas landsat espectrales, índices espectrales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices de las fracciones espectrales. Adicionalmente se usaron 7 variables estáticas: HAND, shademask2, slppost, altitud, pendiente, latitud y longitud; que ayudaron a la clasificación de clases que espectralmente son muy similares pero se logran diferenciar por estos aspectos topográficos.

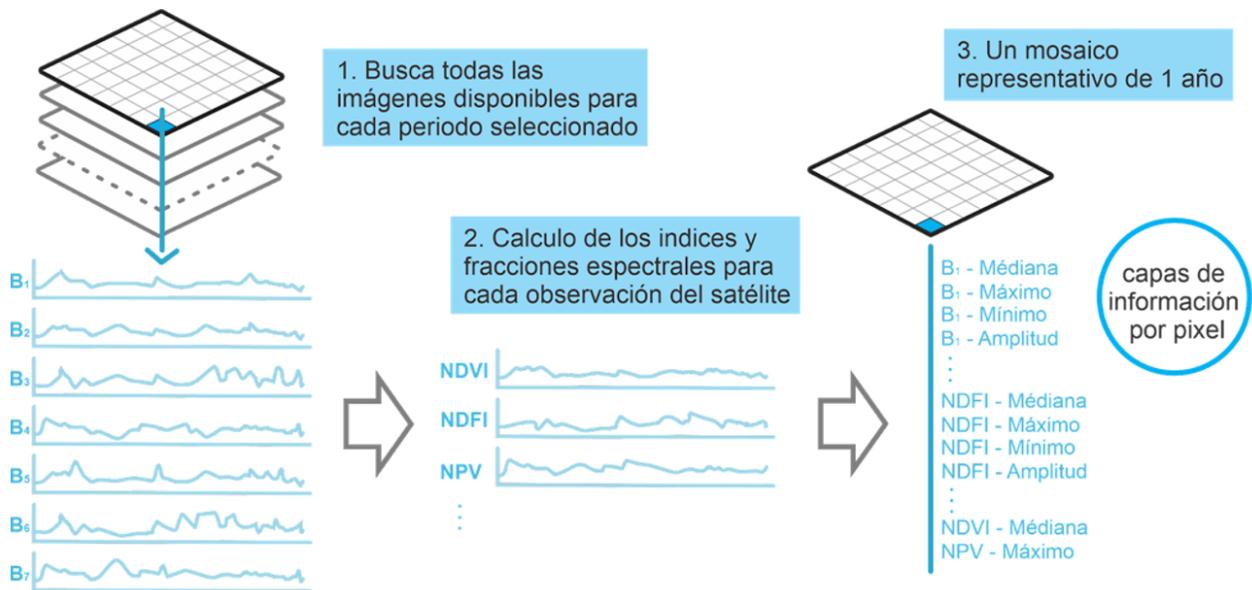
A las imágenes disponibles en cada año, se aplicó el cálculo de **reductores estadísticos** para generar los valores de cada píxel. El proceso de representa en la Figura 9. Estos reductores son:

- Mediana: Mediana<sup>8</sup> de todos los valores disponibles en el mosaico anual para esa ubicación (píxel).
- Mediana época seca: Cálculo de la mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 25 (con los menores valores) de NDVI (proxy de época seca).
- Mediana época húmeda: Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).
- Amplitud: Extensión de la variación entre todos los píxeles disponibles en el mosaico anual.
- Desviación estándar: Desviación estándar de los valores de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual para una ubicación determinada.
- Mínimo: Menor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
- Máximo: Mayor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
- Mínimo del periodo seco: Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca).
- Mínimo del periodo húmedo: Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
- Máximo del periodo seco: Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca).
- Máximo del periodo húmedo: Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
- QMO del periodo seco: El valor más alto que tiene la banda en el índice evi2 en la estación seca.
- QMO del periodo lluvioso: El valor más alto que tiene la banda en el índice evi2 en la estación húmeda.

---

<sup>7</sup> Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomias Amazonía.

<sup>8</sup> Mediana es el valor que separa la mitad superior de la mitad inferior de una muestra de datos o una población. [Documentación](#) de la herramienta en Google Earth Engine.



**Figura 9.** Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.

La tabla 4 muestra el listado completo<sup>9</sup> de bandas de los mosaicos finales o *feature space*. Cada banda representa una variable de entrenamiento del clasificador.

**Tabla 4.** Descripción de bandas y variables empleadas para la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor <sup>10</sup>												Banda de Calidad <sup>*11</sup>	
				Median	Median_dry	Median_wet	amp	std Dev	Mín	Max	Dry_min	Dry_max	Wet_min	Wet_max	Dry_qmo	Wet_qmo	
Banda	blue	B1 (L5 y L7); B2 (L8)	Espectro visible azul	X													
	green	B2 (L5 y L7); B3 (L8)	Espectro visible verde	X	X				X				X		X	X	
	red	B3 (L5 y L7); B4 (L8)	Espectro visible rojo	X	X	X			X			X	X		X	X	
	nir	B4 (L5 y L7); B5 (L8)	Infrarrojo cercano	X	X	X		X	X							X	X
	swir1	B5 (L5 y L7); B6 (L8)	Infrarrojo de onda corta 1	X	X	X			X				X	X	X	X	X

<sup>9</sup> Para esta colección, MapBiomias Amazonía evaluó las variables que se habían usado en la Colección 2 y mediante un proceso de diagnóstico de variables, expandió el feature space tomando en consideración las coberturas en la región.

<sup>10</sup> Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

<sup>11</sup>Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.

	swir2	B7 (L5); B8 (L7); B7(L8)	Infrarrojo de onda corta 2	X	X	X			X		X			X	X	X
Índices	ndvi	$(nir - red)/(nir + red)$	Índice de vegetación de diferencia normalizada	X	X	X	X	X								
	evi2	$(2.5 * (nir - red)/(nir + 2.4 * red + 1))$	Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que solo utiliza NIR y Red, obviando la banda azul.	X	X	X	X	X								
	ndwi_gao	$(nir - swir)/(nir + swir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	X	X	X	X				X		X	X		X
	ndwi_mcfeters	$(green - nir)/(green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeters)	X			X									
	gcvi	$(nir/green) - 1$	Relaciones entre bandas infrarrojo cercano y verde	X	X	X										
	hallcover	$(-red * 0.017) - (nir * 0.007) - (swir2 * 0.079) + 5.22$	Índice espectral de cubierta terrestre	X												
	pri	$(blue - green)/(blue + green)$	Índice de reflectancia fotoquímica ( <i>Photochemical Reflectance Index</i> )	X	X											
	savi	$(1 + L) * (nir - red)/(nir + red + 0,5)$	Índice de vegetación ajustada al suelo	X	X	X		X								

textG	('median_green') .entropy(kernel .square(radius: 5))	Entropía en la banda Azul	X															
nuaci	$UNT_L * (1 - \sqrt{(NDWI_i - aNDWI)^2 + (NDVI_i - aNDVI)^2 + (NDBI_i - aNDBI)^2})$	Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas	X															
ndsi	$(green - swir1) / (green + swir1)$	Índice Diferencial Normalizado de Nieve	X					X										
cai	$(swir2 / swir1)$	Índice de Alteración del Color	X					X	X			X						
gli	$((2 * green) - red - blue) / ((2 * green) + red + blue)$	Índice de hoja verde	X	X				X	X									
mndwi	$(green - nir) / (green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada	X	X	X					X								
ndbi	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Índice acumulado de diferencia normalizada	X	X				X	X									
ndgb	$(green - blue) / (green + blue)$	Diferencia normalizada Verde Azul	X	X	X		X		X									
ndmi	$(nir - swir1) / (nir + swir1)$	Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad	X	X						X								
mdmir	$(swir1 - swir2) / (swir1 + swir2)$	Índice de infrarrojo medio de diferencia normalizada	X		X		X	X	X									

	ndrb	$(red - blue) / (red + blue)$	Diferencia Normalizada Rojo Azul			X		X	X									
	ndsi2	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Diferencia Normalizada de suelo 1	X	X	X			X	X								
<b>Fracción MME<sup>12</sup></b>	gv		Abundancia fraccional de vegetación verde dentro del píxel	X				X	X									
	npv		Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética dentro del píxel	X					X									
	soil		Abundancia fraccional de suelo dentro del píxel	X				X	X									
	shade	$100 - (gv + npv + soil + cloud)$	Abundancia fraccional de sombra dentro del píxel	X														
	snow		Abundancia fraccional de nieve dentro del píxel	X						X								
	cloud		Abundancia fraccional de nubes dentro del píxel	X														
<b>Índice MEM</b>	gvs	$gv / (gv + npv + soil + cloud)$	Vegetación verde normalizada por sombra	X	X	X			X									
	ndfi	$(gvs - (npv + soil)) / (gvs + (npv + soil))$	Índice de fracción de diferencia normalizada	X	X	X	X	X	X									
	sefi	$(gv+npv -soil)$	Índice de	X	X				X									

<sup>12</sup> MME = Modelo de Mezcla Espectral

		$/(gv+npv + soil)$	fracción del ecosistema de sabana																
	wefi	$((gv+npv)-(soil+shade))/(gv+npv)+(soil+shade)$	Índice de fracciones del ecosistema de humedales			X	X	X											
	fns	$((gv+shade) - soil) / ((gv+shade) + soil)$	Índice basada en fracciones en fracciones gv, shade y soil		X			X											
	ndfib	$GV-(NPV+Soil +Snow)/ GV+(NPV+Soil +Snow)$	Adaptación del NDFI para los Andes	X			X												
Variables estáticas y/o topográficas	shademask 2		Mapa de sombras																
	slppost		Pendiente Estratificada																
	altitude		Altitud																
	slope		Pendiente																
	latitude		Latitud																
	longitude		Longitud																
	HAND (Height Above the Nearest Drainage)	hand30_100 hand30_1000 hand30_5000 hand90_1000 water_HAND_0m water_HAND_10m water_HAND_1m water_HAND_2m water_HAND_5m	Índice- Altura por encima del drenaje más cercano	---															

## 3.2 Clasificación

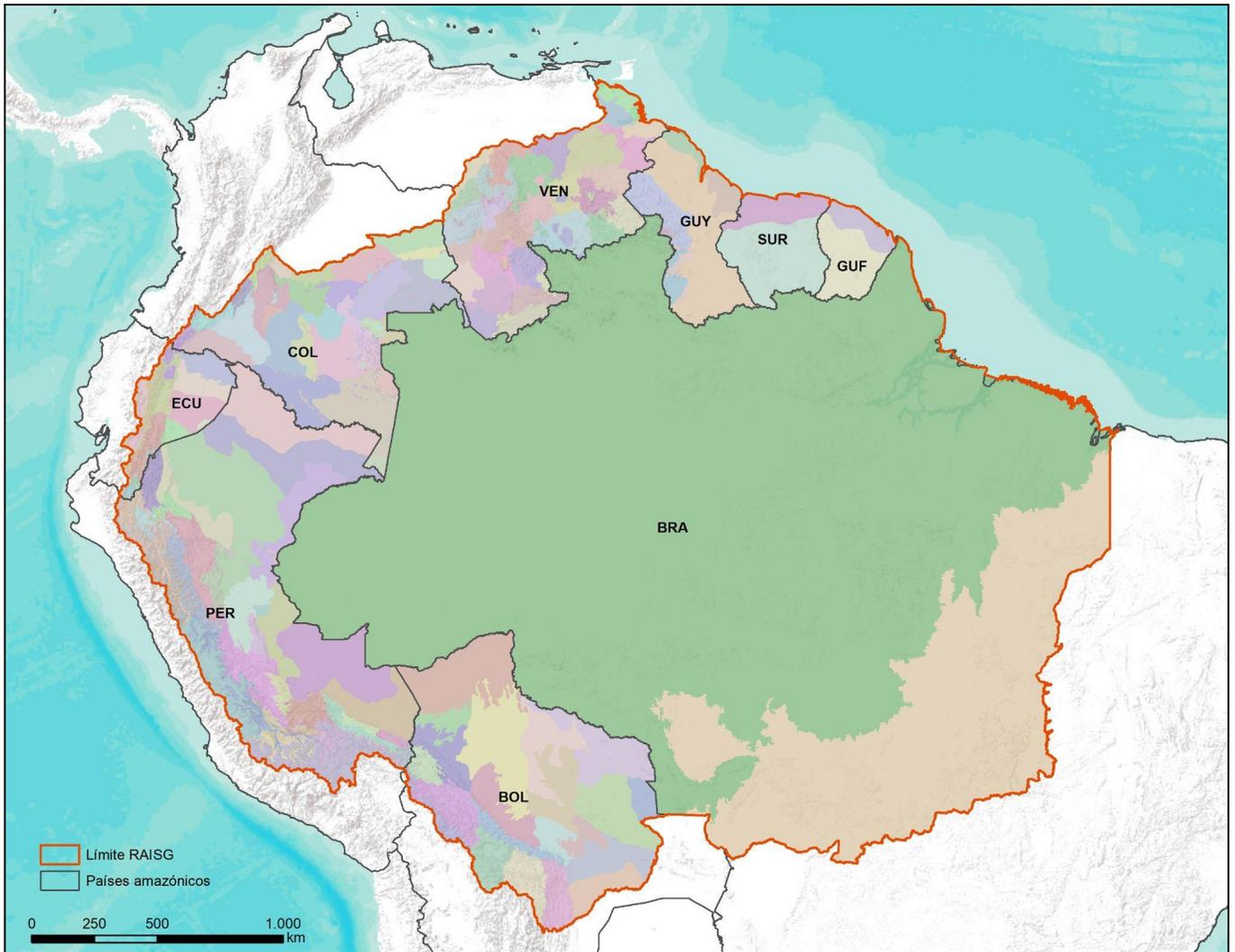
### 3.2.1. Subregiones de clasificación

Debido a las características diferenciadas de cobertura vegetal de la Amazonía, y con el objetivo de mejorar los resultados de las clasificaciones, el área de estudio fue subdividido en 142 subregiones de mapeo o clasificación (Figura 10, Tabla 5), cuyos resultados fueron integrados posteriormente en la etapa de post-clasificación. Información más detallada de las subregiones de cada país se encuentran en los ATBD nacionales anexos a este documento.

**Tabla 5.** Subregiones de clasificación por país y bioma

País	Biomás	Subregiones de clasificación	Número total de regiones
Bolivia	Amazonía	Amazonía Alta (03), Amazonía Baja (09)	21
	Andes	Andes (03)	
	Chaco	Chaco (02)	
	Chiquitano Tucumano-Boliviano	Chiquitano (03) Tucumano boliviano (01)	
Colombia	Amazonía	Amazonía(40)	48
	Andes	Andes (8)	
Ecuador	Amazonía	Amazonía (10)	12
	Andes	Andes (02)	
Guyana	Amazonía	Amazonía Baja (07) Cerrado-Sabana (02)	9
Guyana Francesa	Amazonía	Amazonía Baja (02)	2
Perú	Amazonía	Amazonía Alta (15) Amazonía Baja (11)	39
	Andes	Andes (13)	
Surinam	Amazonía	Amazonía Baja (02)	2
Venezuela	Amazonía	Amazonía Baja (27) Delta (03) Tepuyes (06)	36
<b>Total</b>	<b>5</b>		<b>169</b>

\* El territorio amazónico correspondiente a Brasil está comprendido por tres biomas: Amazonía, Cerrado y Pantanal, totalizando 6 biomas en la Amazonía y 145 regiones de clasificación.



**Figura 10.** Mapa de Subregiones de clasificación definidas en la Amazonía y los países que lo comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.2.2. Leyenda

La leyenda general del proyecto MapBiomias se muestra en la Tabla 6. La definición de cada clase junto con su equivalencia a otros sistemas de clasificación referenciales (e.g. FAO) se adjunta en el documento de leyenda regional y el Anexo 1 de este documento. Aunque no todas las clases se consiguieron mapear se buscó identificar las clases al nivel más detallado posible.

**Tabla 6.** Clases de cobertura y uso del suelo de la Colección 4 de MapBiomias Amazonía.

ID	CLASE	COBERTURA / USO	MAPEADO EN COLECCIÓN 4
1	1. Bosque Natural	Cobertura	-
3	1.1. Formación forestal	Cobertura	Todos los países
4	1.2. Formación sabánica/Bosque abierto	Cobertura	Bolivia, Brasil, Perú
5	1.3. Manglar	Cobertura	Brasil, Guyana, Guyana Francesa, Surinam, Venezuela
6	1.4. Bosque inundable	Cobertura	Todos con excepción de Brasil
10	2. Formación Natural No Forestal	Cobertura	-
11	2.1. Formación natural no forestal inundable	Cobertura	Todos los países
12	2.2. Formación Campestre	Cobertura	Todos los países
29	2.3. Afloramiento Rocoso	Cobertura	Brasil, Ecuador, Guyana, Venezuela
13	2.4. Otra formación natural no forestal	Cobertura	Todos con excepción de Guyana, Guayana Francesa, Surinam
14	3. Agropecuaria y silvicultura	Uso	
15	3.1. Pasto	Uso	Todos con excepción de Guyana, Guayana Francesa, Surinam
18	3.2. Agricultura	Uso	Todos los países
9	3.3. Silvicultura	Uso	Brasil, Ecuador, Perú
35	3.4. Palma aceitera	Uso	Colombia, Ecuador
21	3.3 Mosaico de agricultura y/o Pasto	Uso	Todos los países
22	4. Área sin Vegetación	Cobertura / Uso	
24	4.1. Infraestructura Urbana	Uso	Todos los países
30	4.2. Minería	Uso	Todos los países
25	4.3. Otra Área sin Vegetación	Cobertura/Uso	Todos los países
26	5. Cuerpo de agua	Cobertura / Uso	
33	5.1. Río, lago u océano	Cobertura / Uso	Todos los países
34	5.2. Glaciar	Cobertura	Bolivia, Ecuador, Perú
27	6. No Observado		Todos con excepción de Venezuela

### 3.2.3. Colecta de muestras

El proceso de clasificación parte de la toma de muestras de entrenamiento. Para ello, se identificaron y seleccionaron únicamente aquellos píxeles que mantuvieron de modo estable (que no cambiaron) la misma clase a lo largo de todos los años de la serie temporal (entre 1985 y 2021). Sobre esta capa se sortearon puntos

aleatorios balanceados según la extensión de cada clase. Los valores de cada ubicación sirvieron de insumo para entrenar el clasificador Random Forest.

La capa de píxeles estables fue revisada visualmente y se realizaron correcciones donde se consideró necesario. Opcionalmente, se incluyó manualmente muestras adicionales a las cuales se les denominó *muestras complementarias*, empleando las herramientas para creación de geometrías directamente en el EE de Google.

#### 3.2.4. Random Forest

*Random forest*<sup>13</sup> Es un método de clasificación que utiliza un algoritmo de aprendizaje de máquina (*machine learning*) y que reporta valores elevados de precisión, inclusive frente a escenarios complejos por su heterogeneidad. La base conceptual de Random Forest se basa en lo que Tumer y Ghosh (1996) encontraron al demostrar que el producto resultante de la combinación de múltiples clasificadores alcanza precisiones elevadas. Random forest utiliza datos de entrenamiento para construir múltiples árboles de decisión a partir de los cuales se asigna una clase a cada píxel. Random Forest ha ganado importancia en los últimos años, debido a su robustez frente a ruidos y valores atípicos. El algoritmo Random Forest forma parte del paquete de clasificadores de *machine learning* disponibles en la plataforma EE de Google. La metodología aplica un criterio de clasificación basado en píxeles.

Uno de los parámetros que Random Forest requiere es un número definido de árboles. Además requiere de una lista de variables (ver sección “Variables”), y contar con datos de entrenamiento (ver sección “Colecta espectral”). Para la Colección 4 de MapBiomias, el número de árboles varió según las necesidades y características de cada subregión de clasificación, información que se detalla por país en los ATBDs nacionales anexos a este documento.

#### 3.2.5. Temas transversales

Limitaciones en la posibilidad de diferenciar ciertas clases específicas, motivaron la decisión de mapear estas de modo transversal, para lo cual se desarrollaron metodologías específicas para cada tipo de clase de interés. Este es el caso de las clases: Manglar (ID = 5), Bosque inundable (ID = 6), Silvicultura (ID = 9), Formación Natural No Forestal Inundable (ID = 11), Pastos (ID = 15), Agricultura (ID = 18), Infraestructura urbana (ID = 24), Minería (ID = 30), Agua (ID = 33), Glaciar (ID = 34) y Palma aceitera (ID = 35). Estas clases fueron mapeadas independientemente, por lo que se les denomina Temas Transversales, empleando algoritmos que consideran únicamente la clase de interés. Cada país decidió cuáles clases mapear como tema transversal (Figura 11). Posteriormente, esta información es incluida en el mapa final empleando reglas de integración en la fase que denominamos “integración”. La descripción metodológica de cada uno de estos temas se detallan en los ATBDs específicos a cada tema, disponibles en la página web del proyecto.

---

<sup>13</sup> Leo Breiman, “Random Forests,” *Machine Learning* 45, no. 1 (October 1, 2001): 5–32, <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

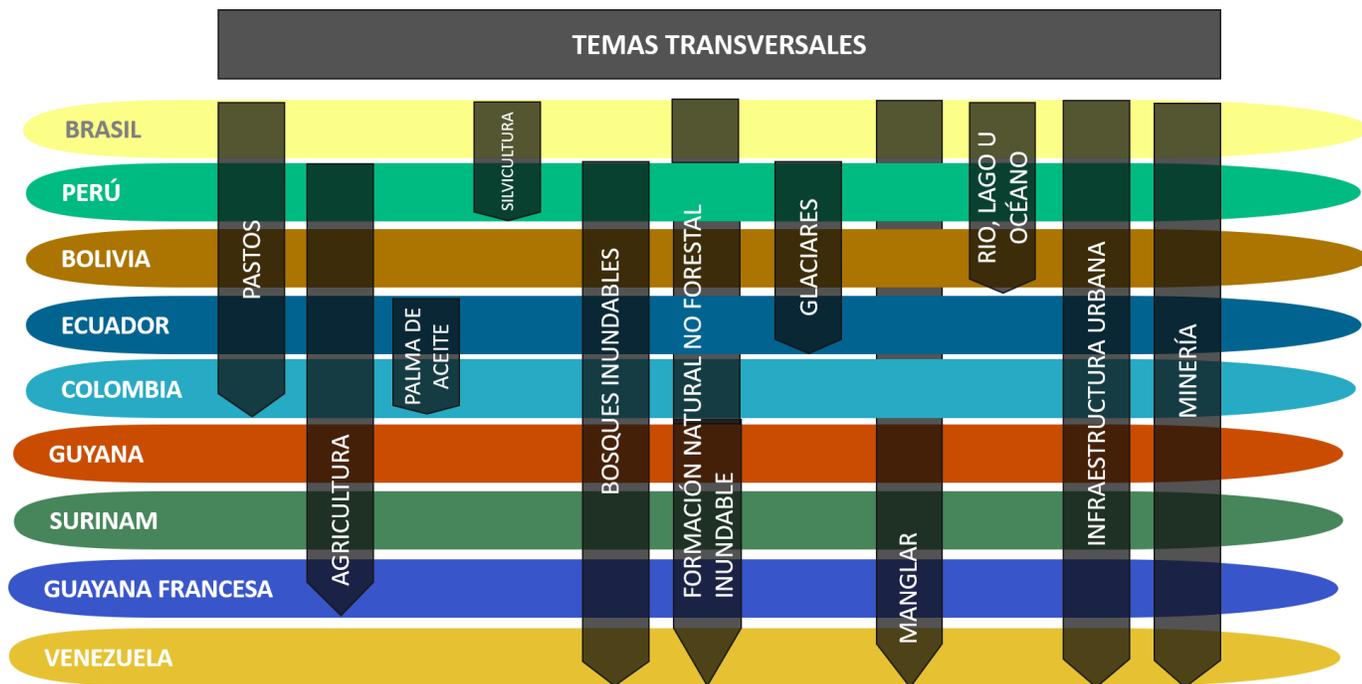


Figura 11. Esquema de temas transversales aplicados por país

### 3.3. Post clasificación

El resultado preliminar de clasificación fue sometido a la aplicación de una secuencia de filtros con el propósito de reducir inconsistencias temporales, reducir ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo<sup>14</sup> y llenar vacíos de información. El proceso de post clasificación en esta colección no tiene un orden específico en la aplicación de los filtros, la sucesión de los mismos fue de acuerdo a la necesidad de cada región de clasificación e incluso se facilitó hacer uso repetido de los filtros; a la vez, se incluyeron excepciones dentro de cada filtro como exclusión de años y clases. Todas estas herramientas fueron implementadas en la plataforma EE de Google, empleando scripts escritos en Javascript. A continuación presentamos cada una de estas herramientas a mayor detalle. Una descripción de la adaptación de estos filtros por país puede ser encontrada en los apéndices nacionales.

#### 3.3.1 Llenado de vacíos de información (Gap Fill)

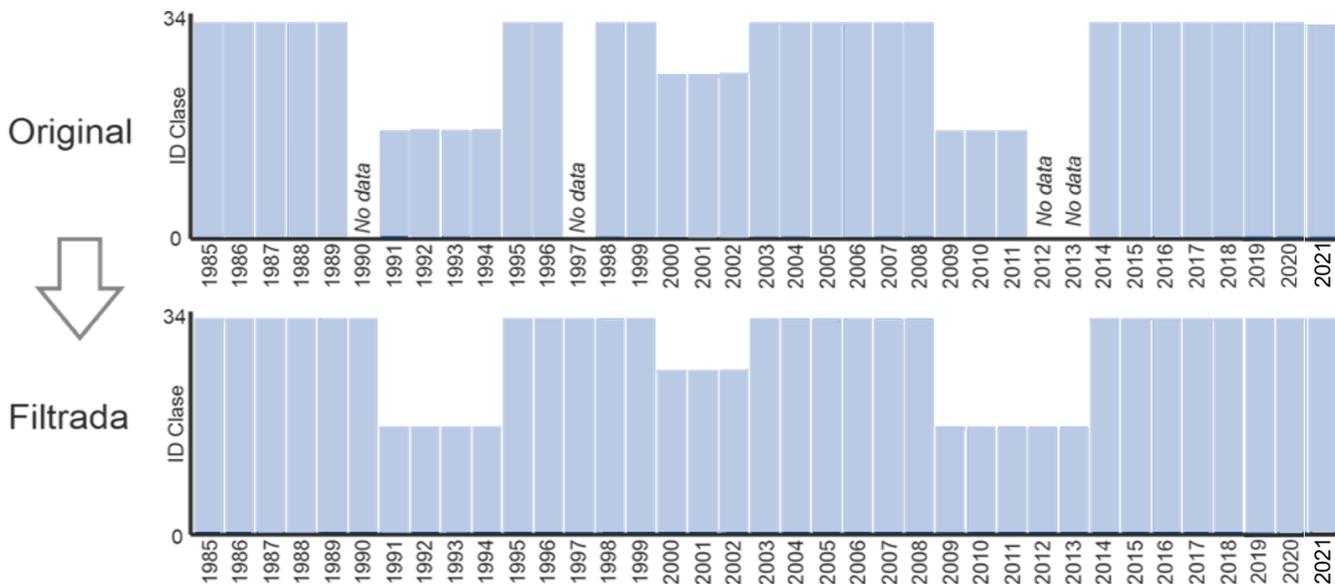
El área de estudio de MapBiomos Amazonía se caracteriza por ser una región que debido a sus condiciones atmosféricas y climáticas resultan en una presencia casi permanente de nubes a lo largo del año en varias partes del territorio. Como producto de ello, la composición de mosaicos anuales contienen píxeles sin observaciones o datos (*No data*).

El filtro de relleno de vacíos o Gap fill tiene la capacidad de reducir estos vacíos residuales al asignar valores a píxeles sin datos debido a ausencias de observación del satélite ("gaps").

Los píxeles en las clasificaciones sin datos ("gaps") son reemplazados por el valor temporalmente más cercano. Cuando un píxel "futuro" carece de valor (sin datos), el filtro de Gap fill le asigna el valor del año más próximo al

<sup>14</sup> 5 píxeles = aproximadamente media hectárea

mismo (Figura 12). Este filtro hace una revisión de la serie donde primero llena vacíos haciendo un barrido de “atrás hacia adelante”, donde los vacíos son llenados con datos de los años próximos que anteceden al año sin datos. De haber vacíos remanentes, estos son llenados con datos del año más próximo precedente. Para cada píxel cuyo valor fue completado empleando este filtro, el cambio ha sido registrado en un archivo de metadata, donde se ha registrado el año (la historia) del píxel.



**Figura 12.** Funcionalidad del filtro de Gap Fill en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.3.2 Filtro Temporal

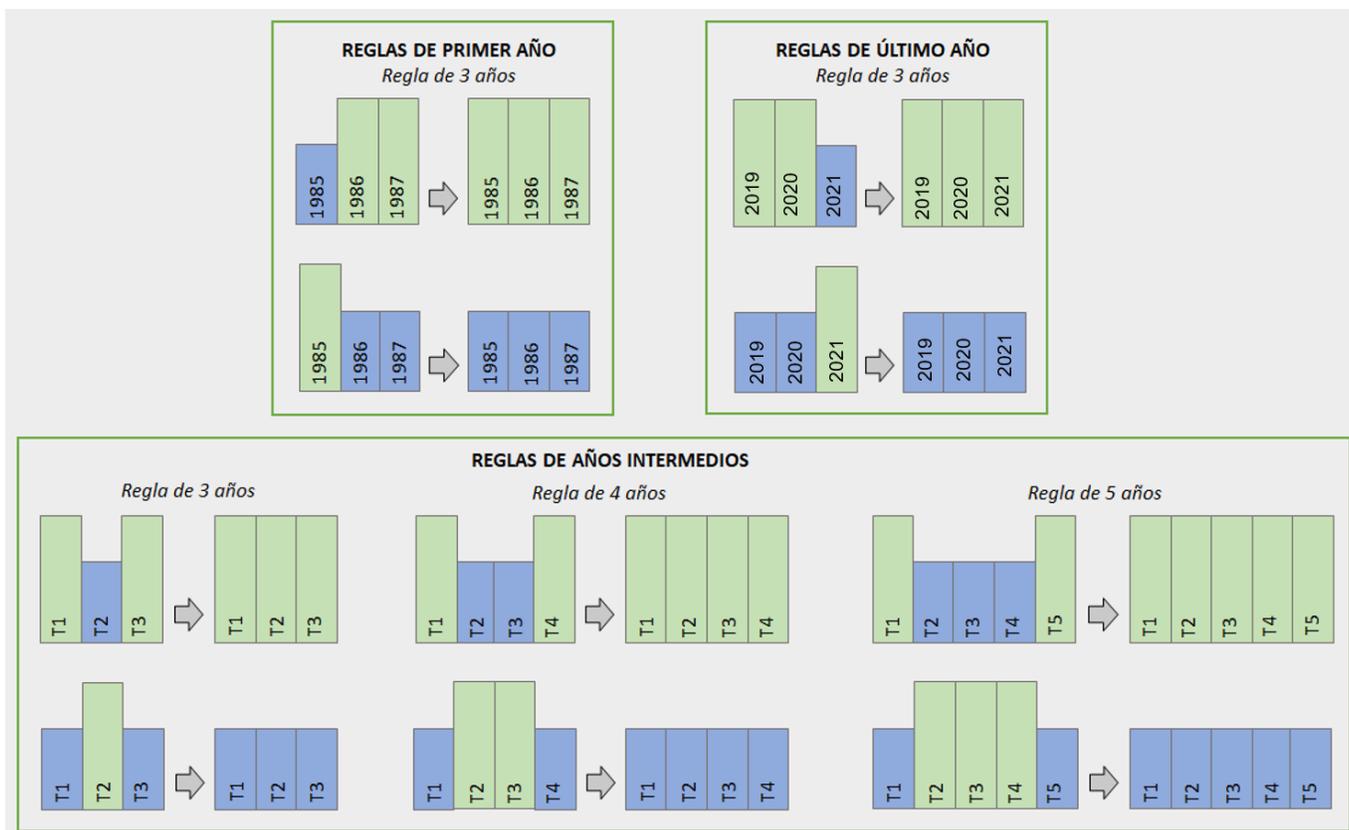
El filtro temporal inspecciona el valor de cada píxel clasificado en relación al valor de ese píxel en clasificaciones temporalmente consecutivas. Para ello emplea una ventana móvil unidireccional que toma en consideración secuencias de clasificaciones de 3 a 5 años e identifica transiciones temporales no permitidas. El filtro temporal se aplica a cada píxel de todos los años de la colección.

Dependiendo del año que la regla modificará, existen tres tipos de reglas:

- Reglas generales (RG). Aplicadas a píxeles de años en posiciones intermedias en secuencias de 3 a 5 años. Esta regla se aplica únicamente en casos donde hay una inconsistencia temporal; por ejemplo, cuando secuencias de años consecutivos tienen valores idénticos a excepción del píxel en posición central. En estos casos, el filtro modificará el valor del píxel central para que guarde consistencia con los píxeles que le anteceden y suceden. En el caso de secuencias de 3 años, solo existe una opción de posición central o año intermedio. En el caso de secuencias de 4 o 5 años, existen dos o tres alternativas de posiciones centrales. Esta regla modifica los valores de las clasificaciones de los años 1986 al 2020.
- Reglas de primer año (RP). Aplicadas únicamente al primer año de la serie temporal. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 1985.
- Reglas de último año (RU). Aplicada al último año de la clasificación. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 2021.

De este modo, los filtros temporales reducen vacíos de información e inconsistencias temporales o cambios que no son posibles o no están permitidos (Figura 13). Por ejemplo, si en tres años consecutivos un píxel tiene los siguientes valores: Formación Forestal > Área No Vegetada > Formación Forestal, el filtro corregirá el año intermedio. Este caso es un típico error de clasificación debido a la presencia de bruma de nubes en el mosaico del año intermedio.

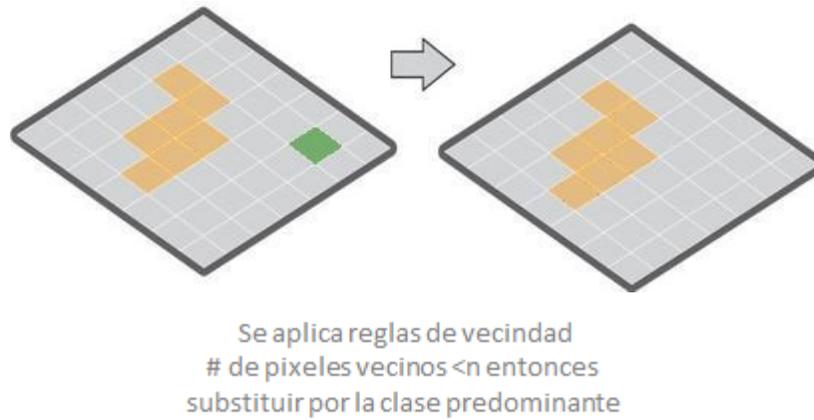
La decisión de elegir el tamaño de la ventana temporal fue de cada país de acuerdo a las necesidades y características de sus coberturas y usos del suelo por subregión y/o tema transversal. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.



**Figura 13.** Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.3.3 Filtro Espacial

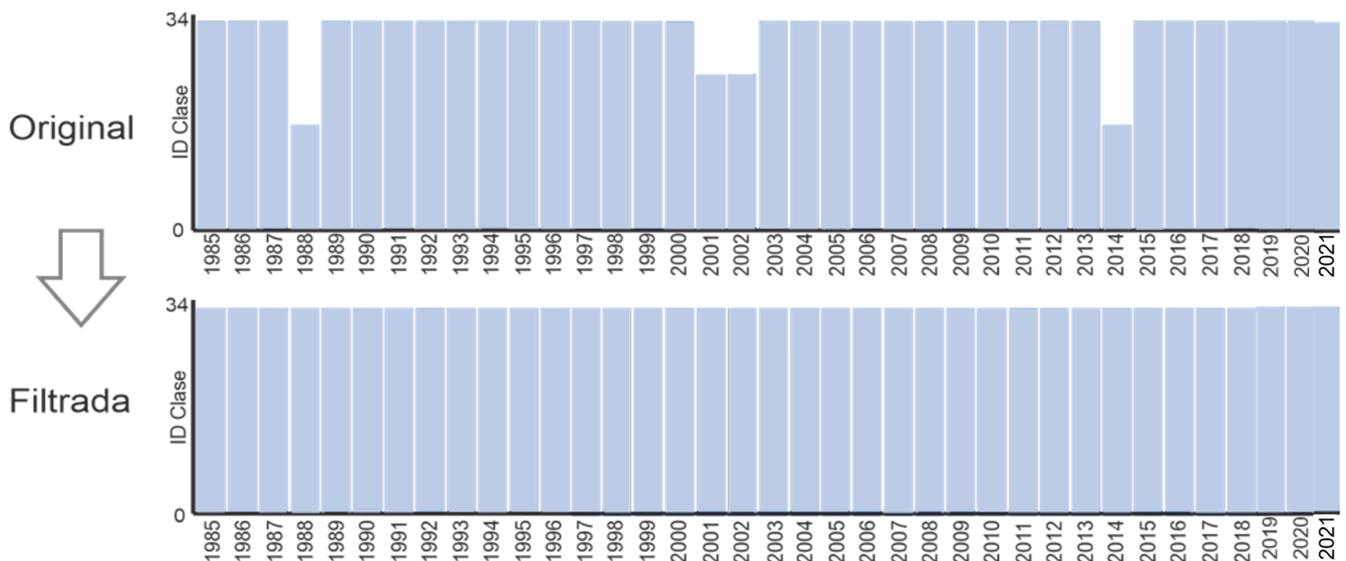
El filtro espacial se basa en la función “connectedPixelCount”, nativa del GEE. Esta función localiza píxeles conectados (vecinos) que comparten el mismo valor empleando una ventana móvil. Únicamente los píxeles que no comparten una conexión con un número predefinido de vecinos idénticos son considerados como píxeles aislados. En el caso de MapBiomias Amazonía, la unidad mínima de mapeo fue definida como 0.5 ha ( 5 píxeles). Consecuentemente, se requirió que por lo menos cinco píxeles estén conectados para cumplir con el criterio de conexión mínima. De este modo, el filtro espacial allana (suaviza) diferencias locales al eliminar píxeles aislados o de borde menores a 0.5 ha, incrementando la consistencia espacial de las calificaciones (Figura 14). Cabe resaltar que algunas regiones de clasificación tuvieron excepciones de unidad mínima de 3 píxeles.



**Figura 14.** Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.3.4 Filtro de frecuencia

Este filtro toma en consideración la frecuencia de ocurrencia de clases naturales en toda la serie temporal. Por lo tanto, clases con ocurrencias menores a un porcentaje definido por el/la intérprete son reemplazadas por el valor de la clase más frecuente. Este mecanismo contribuye a reducir la oscilación temporal asociada a una clase natural, disminuyendo la frecuencia de falsos positivos y preservando trayectorias consolidadas (Figura 15). De acuerdo a las necesidades de cada subregión y/o tema transversal, se adecuaron los criterios del filtro por región de clasificación. Se descartó su aplicación en varias subregiones y/o países. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.



**Figura 15.** Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.3.5 Filtro de incidencia

El filtro de incidencia estabiliza el valor de píxeles de clase natural que cambiaron de clase demasiadas veces a lo largo de la serie temporal de 37 años. Todos los píxeles que cambian más de una cantidad de veces definida por el usuario y que están conectados con por lo menos  $n$  píxeles, fueron reemplazados por el valor de la clase de moda de ese píxel. Esto reduce cambios a lo largo de los bordes de las clases y ayuda a estabilizar las transiciones erradas por ruidos. De acuerdo a las necesidades de cada subregión y/o tema transversal, se adecuaron los criterios del filtro (Figura 16). Se descartó su aplicación en varias subregiones y/o países. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.

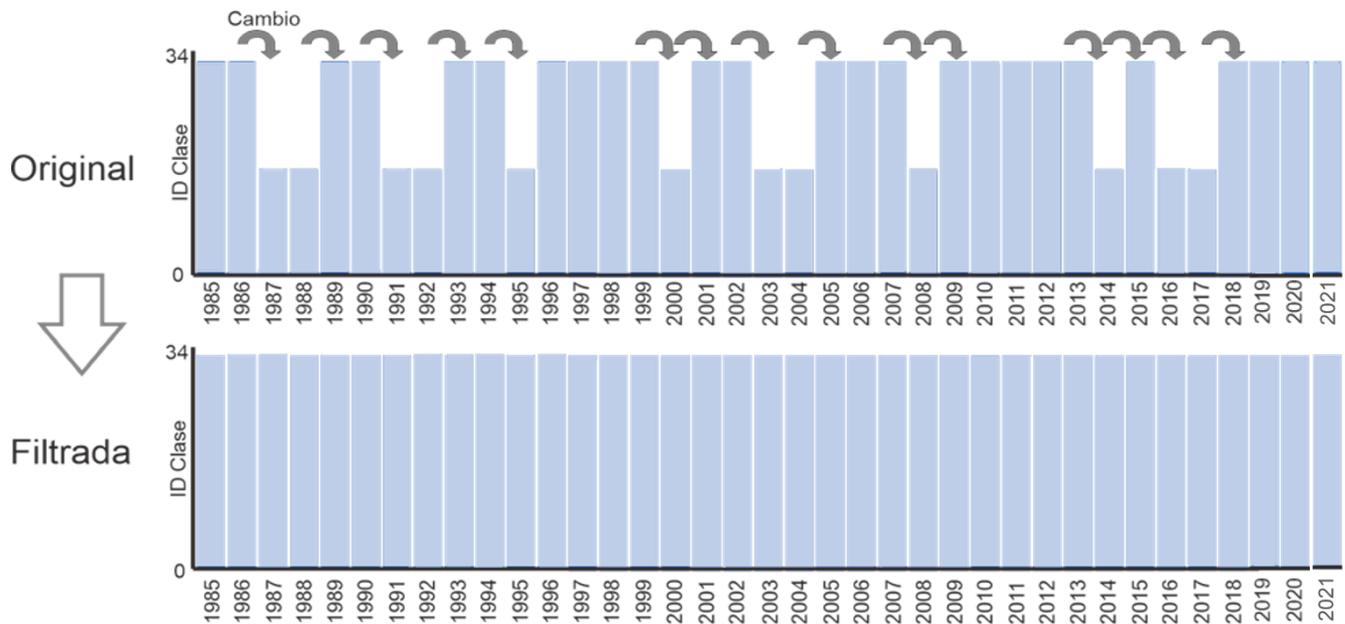


Figura 16. Funcionalidad del filtro de incidencia en la Colección 4 MapBiomias Amazonía.

### 3.3.6. Reclasificación

En casos muy particulares, donde no hubo continuidad de clase entre países, se optó por verificar con capas de referencia o información secundaria qué país tenía la correcta clasificación y así reclasificar la clase errónea y obtener una correcta continuidad entre biomas o países.

## 3.4. Integración

Los resultados de las clasificaciones anuales obtenidos para cada una de las regiones de clasificación (ver sección 3.2.1) constituyen sectores del mapa base general, los cuales requieren ser integrados en un único mapa regional anual. Este proceso de integración se realiza a nivel de cada país.

Posterior a esta primera integración, los resultados de la clasificación de los temas transversales (ver sección 3.2.5) son incorporados al mapa general, como una reclasificación de los píxeles; siguiendo reglas de prevalencia o de orden de integración que definen la prevalencia de clases donde ocurra superposición de distintos valores.

Un ejemplo de las reglas de prevalencia para el bioma Amazonia se presenta en la Tabla 7. El producto son mapas anuales de cobertura y uso por país.

**Tabla 7.** Reglas de prevalencia del bioma Amazonia para la fase de integración. El valor numérico indica el orden de integración

Clase	ID	Fuente	ORDEN DE PREVALENCIA DE CLASES					
			Bolivia	Perú	Ecuador	Colombia	Venezuela	Guyanas y Surinam
Formación Forestal	3	Base	14	14	16	13	13	5
Formación sabánica/Bosque abierto					-			
Manglar	5	Transversal	-	-	-	-	12	1
Bosque Inundable	6	Base	-	13	-	-	-	6
Bosque Inundable	6	Transversal	9	12	15	12	7	-
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Base	-	10	11	-	-	8
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Transversal	10	9	-	8	8	-
Formación Campestre	12	Base	12	15	3	10	9	7
Afloramiento Rocoso	29	Base			5	-	1	
Otra Formación No Forestal	13	Base	11	16	4	11	11	-
Pastos	15	Transversal	6	-	10	6	3	-
Agricultura	18	Transversal	7	-	12	5	4	-
Mosaico de Agricultura y/o Pasto	21	Base	8	8	14	7	5	9
Mosaico de Agricultura y/o Pasto	21	Transversal	-	7	-	-	-	-
Silvicultura	9	Base			6	-	-	
Silvicultura	9	Transversal			-	-	-	
Palma aceitera	35	Transversal			13	4	-	
Infraestructura Urbana	24	Transversal	5	6	2	2	6	2
Otras áreas sin vegetación	25	Base	13	11	9	9	14	4

Minería	30	Transversal	1	1	8	1	2	-
Río, Lago y Océano	33	Base	4	5	7	3	10	3
Río, Lago y Océano	33	Transversal	3	4	12	-	-	-
Glaciar	34	Transversal	2	2	1	-	-	-
No observado	27	Base			17			

El último paso del proceso de integración consiste en integrar los productos nacionales en un solo producto regional Amazónico. En esta etapa también se integra el producto correspondiente al territorio de Brasil, proveniente de la Colección 7 de MapBiomias Brasil.

### 3.5 Mapas de transiciones

Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las transiciones. Estas representan los cambios entre pares (2) de mapas, es decir, entre dos periodos. Los resultados están disponibles en la plataforma de MapBiomias Amazonía. Las transiciones son calculadas para diferentes periodos, como por ejemplo:

- (A) años consecutivos, anuales (por ejemplo, de 2001 a 2002, o de 2013 a 2014, etc)
- (B) períodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- (C) períodos de diez años (por ejemplo, 2000-2010)
- (D) serie temporal completa (1985 - 2021)
- (E) períodos especiales (por ejemplo, 2000-2021)

### 3.6 Estadísticas

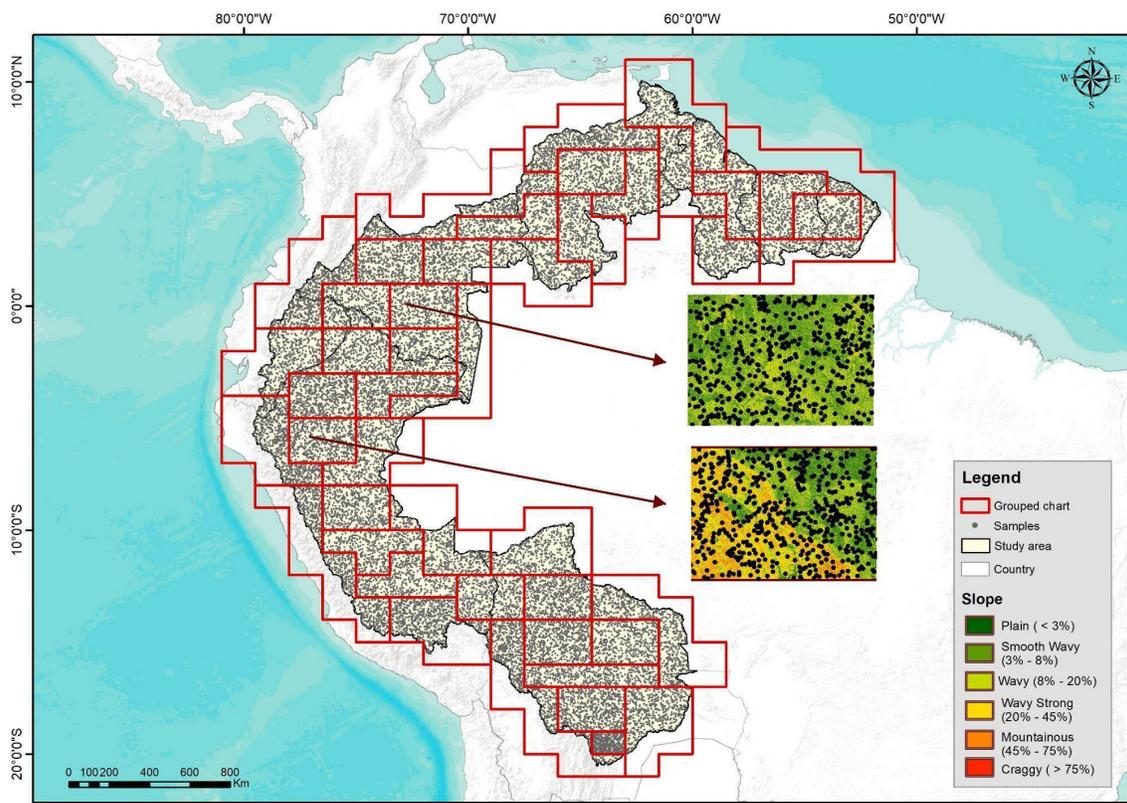
Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las estadísticas zonales, anuales, de las clases mapeadas. Las unidades espaciales consideradas para el cálculo de las estadísticas son:

- Área de estudio completa
- Biomas
- País
- Departamento
- Municipio
- Cuenca hidrográfica
- Territorios indígenas
- Áreas naturales protegidas

## 4. Validación

El análisis de precisión evalúa la calidad de los mapas obtenidos. Este análisis ha sido realizado por una institución externa a los autores del mapa y contiene resultados de la precisión general del mapa por clases y por años y errores de omisión y comisión para cada una de las categorías clasificadas.

El análisis de precisión consideró un muestreo en el que la población (es decir, la cantidad total de píxeles) se dividió en dominios o subpoblaciones. Estos dominios fueron creados mediante la construcción de cartas<sup>15</sup> agrupadas. Se construyeron 45 cartas agrupadas (Figura 17), cada una con un área de aproximadamente 70.000 km<sup>2</sup>. Para cada carta agrupada se realizó un muestreo aleatorio estratificado proporcional de una etapa, donde la estratificación se definió por la división de la carta agrupada en seis niveles de pendiente, y dentro de cada estrato se realizó un muestreo aleatorio simple de las unidades primarias de muestreo (píxel).



**Figura 17.** Distribución de puntos muestrales y gráficos agrupados (~ 70.000 km<sup>2</sup> cada uno) por área de estudio, con dos ejemplos de distribución de puntos por clases de pendiente.

En cada carta agrupada se controló la precisión y confiabilidad de las estimaciones de manera que el tamaño de la muestra garantizara un error estándar máximo del 5% con un nivel de confianza del 95%. En esta perspectiva, el error máximo esperado para toda el área de estudio es 0.5%. Considerando la viabilidad de tiempo e intérpretes para el proceso de inspección, se definió una cantidad mínima de 500 puntos para cada carta agrupada. Para el cálculo del tamaño muestral también se consideró información de variabilidad y número de clases en cada carta agrupada, tomando como referencia el mapeo realizado por MapBiomás Amazonía, referido

<sup>15</sup> Correspondientes a las cartas del mapa Internacional del Mundo al Millón (CIM) a escalas 1: 250,000. Ver sección 3.1.1.

a la Colección 2 para el año 2015. Así, se estableció el tamaño muestral como una función creciente en relación al número de clases y/o en relación a la variabilidad. La información de variabilidad se derivó de la varianza máxima de las clases de cobertura de uso del suelo y para considerar la información sobre el número de clases se aplicó la corrección de Bonferroni (Dunn, 1959)<sup>16</sup>, que corrige el valor cuantílico de la distribución normal estándar. El número total de muestras extraídas para toda el área de estudio correspondió a 25.848 píxeles.

A continuación se muestra la fórmula para el cálculo del tamaño muestral para cada carta agrupada

$$n = \max_{p \cdot q} \left( \frac{N z_{\gamma}^2 pq}{(N - 1)E^2 + z_{\gamma}^2 pq} \right),$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra;  $N$  es el total de puntos;  $E$  es el máximo margen de error;  $p = 1 - q$  es la proporción a estimar;  $z$  es el factor de la distribución normal estandarizada correspondiente al nivel de confianza ajustado  $1 - g$  calculado mediante la corrección de Bonferroni, siendo  $g = k - 1$  y  $1 -$  el nivel de confianza deseado;  $k$  es el número de clases de uso y cobertura del suelo (Cochran, 1977).<sup>17</sup>.

La actualización de los puntos de muestreo para la Colección 4 se dividió en dos etapas:

- En la primera, se revisaron los puntos con clases consolidadas de la Colección 3 solo en los últimos cuatro años (2018 a 2021), considerando la clase 2020 y dos inspecciones más por punto.
- En la segunda etapa se inspeccionaron los puntos a reclasificar con nuevas clases (como agricultura, pastos, silvicultura o palma aceitera) o clases que tienen extensiones espaciales pequeñas (como las clases de minería y de infraestructura urbana), desde 1985 hasta el 2021, teniendo 3 inspecciones por punto.

Cada muestra fue clasificada anualmente (es decir, 1985-2021) por 3 intérpretes independientes. En este estudio consideramos la clase con predominio de votos en cada observación. Este proceso involucró a un grupo de 14 personas y la validación de 18 clases presentes en la Colección 4 de MapBiomias Amazonía.

Las inspecciones visuales se llevaron a cabo con la ayuda de la herramienta Temporal Visual Inspection (TVI - [tvi.lapig.iesa.ufg.br](http://tvi.lapig.iesa.ufg.br)), desarrollada por el Laboratorio de Procesamiento de Imágenes y Geoprocesamiento (Lapig) de la Universidad Federal de Goiás (UFG). Cada año evaluado, el intérprete tuvo acceso a dos imágenes Landsat (composición SWIR-NIR-RED). También se presentó información auxiliar, como coordenadas y región, además de la posibilidad de visualizar imágenes en alta resolución espacial desde el software Google Earth. Es de destacar que el uso de Google Earth se hizo para una mejor comprensión del contexto del paisaje y su respuesta espectral en imágenes Landsat.

También se realizaron reuniones entre el grupo de intérpretes y un grupo de expertos de cada país. Estas reuniones permitieron la creación de una clave de interpretación con diferentes criterios para interpretar las

<sup>16</sup> Olive Jean Dunn "Estimation of the Medians for Dependent Variables," *The Annals of Mathematical Statistics*, Ann. Math. Statist. 30(1), 192-197, (March, 1959)

<sup>17</sup> William Gemmell Cochran, *Sampling Techniques*, 3d ed, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics (New York: Wiley, 1977).

imágenes Landsat (e.g. color, tono, textura, homogeneidad, forma y contexto). Esta acción favoreció el conocimiento de diferentes tipos de coberturas de la región.

La evaluación de precisión se realizó utilizando métricas que comparan la clase asignada con la clase evaluada por los técnicos validadores en los datos de referencia. Las métricas utilizadas fueron: La precisión del usuario (error de comisión) que está asociadas con la confiabilidad de cada clase asignada, precisión del productor (error de omisión) que está asociadas con la sensibilidad del clasificador, es decir, la capacidad de distinguir correctamente una clase particular de otras y finalmente la precisión global que es la estimación de la proporción de corrección global de los clasificadores.

Los resultados de la validación se encuentran disponibles en la plataforma de MapBiomás Amazonía.

## 5. Consideraciones prácticas y desafíos

La colección de mapas anuales 4.0 de cobertura y uso de la tierra de la Amazonía es un instrumento de monitoreo estratégico que refleja la historia de la región, en más de tres décadas, así como el comportamiento de los ecosistemas que se encuentran en uno de los bosques tropicales más representativos del mundo. La producción de este volumen de información multianual ha dado lugar a aplicaciones para estimar tendencias en el cambio de la cobertura terrestre, así como para comprender los factores que modifican la dinámica de la cobertura terrestre en la región.

Para el desarrollo de este proyecto, con un alcance espacial y temporal inédito para la región, se utilizó una metodología estandarizada que es factible de ser replicada en otras áreas del planeta. El uso de las plataformas de trabajo en la nube de Google Earth Engine y la tecnología de código abierto se ha mostrado prometedor para la accesibilidad y el procesamiento de datos a gran escala.

A través del aprendizaje y la experiencia adquirida en la producción de la colección MapBiomias Amazonia 4.0, junto con el intercambio de ideas con los equipos de MapBiomias Brasil, fue posible lograr una mayor eficiencia en términos de tiempo y procesos. A partir del trabajo colaborativo y en red de un equipo multidisciplinar, fue posible llegar a una metodología ajustada a las necesidades particulares de cada territorio.

El uso del algoritmo Random Forest como clasificador de los mapas LULC de la colección 4.0, combinado con un protocolo de mapeo flexible que permitió a cada país definir su espacio de características y muestras. La aplicación de filtros de post clasificación permitió reducir los efectos asociados a la baja calidad y baja disponibilidad de imágenes de satélite que ocurren principalmente al inicio de la serie temporal. Además, la inserción de nuevos temas transversales integrados jerárquicamente hizo posible proporcionar mayor detalle temático en los mapas de uso y cobertura del suelo.

El siguiente paso de este proyecto es ampliar el mapeo y monitoreo de la superficie a la totalidad del territorio de cada uno de los países miembros del RAISG, considerando un nivel más específico de leyenda, mayor precisión en el mapeo y el uso de nuevas tecnologías y herramientas de teledetección que permitan obtener un producto de mayor calidad.

## 6. Referencias

- Google (2019, Marzo 01). Landat Collections. Accedido en <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat/>
- Google (2019, Marzo 01). Google Earth Engine API. Accedido en <https://developers.google.com/earth-engine/>
- Gorelick, Noel; Hancher, Matt; Dixon, Mike; Ilyushchenko, Simon; Thau, David; Moore, Rebecca. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 202, 18-27.
- Olson, David; Dinerstein, Eric; Wikramanayake, Eric; Burgess, Neil; V. N. Powell, George; C. Underwood, Emma; A. D'amico, Jennifer; Itoua, Illanga; E. Strand, Holly; Morrison, John; J. Loucks, Colby; F. Allnutt, Thomas; Ricketts, Taylor; Kura, Yumiko; Lamoreux, John; W. Wettengel, Wesley; Hedao, Prashant ; Kassem, Kenneth. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience*. Vol 51, No 11. 933-938.
- Souza, Carlos; Roberts, Dar A.; Cochrane Mark A. (2005). Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 98, p329-343.
- Souza, Carlos; Siqueira, J.V.(2013). ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 1571-1578.
- Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., Fosnight, E. A., Shaw, J., Masek, J. G., and Roy, D. P. (2016). The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 185, 271-283.

## **7. Apéndices**

Apéndice 1 - Bolivia

Apéndice 2 - Colombia

Apéndice 3 - Ecuador

Apéndice 4 - Guyana, Guyana Francesa y Surinam

Apéndice 5 - Perú

Apéndice 6 - Venezuela

Apéndice 7 - Transversal de cuerpos de agua

Apéndice 8 - Transversal de glaciares

Apéndice 9 - Transversal de minería

Apéndice 10 - Transversal de infraestructura urbana

Apéndice 11 - Transversal de coberturas inundable

Apéndice 12 - Transversal de agricultura

Apéndice 13 - Transversal de pastos

## 8. Anexos

**Anexo 1:** Descripción de clases por país y bioma, según la leyenda de la Colección 4 MapBiomos Amazonía

Clase Nivel 1	Clase Nivel 2	Bioma	País	Descripción
1. Bosque Natural	1.1. Formación forestal	Amazonía	Bolivia	En la región Amazonía Alta, corresponde a una formación vegetal dominada por fisonomías boscosas y siempre verdes, la cual se distribuye generalmente por encima de 1000 m de altitud (aunque baja hasta casi los 300 m siguiendo cursos hídricos) hasta poco más de 4000 m, ocupando principalmente la porción oriental de los Andes tropicales. Incluye también los bosques yungueños.
				En la región Amazonía Baja, está conformado principalmente por fisonomías boscosas y siempre verde, sobre elevaciones de hasta 1500 m. Incluye bosques amazónicos de tierra firme y bosques amazónicos de inundación (que a su vez son subdivididos en bosques de várzea y bosques de igapó).
			Brasil	Bosque ombrófilo denso, bosque siempreverde estacional, bosque ombrófilo abierto, bosque semidecíduo estacional, bosque caducifolio estacional, sabana arbolada, áreas que sufrieron acción de fuego o tala, bosque resultante de procesos de sucesión natural, luego de la supresión total o parcial de la vegetación primaria por acciones antrópicas o causas naturales, y puede haber árboles remanentes de vegetación primaria. Bosque Ombrófilo Abierto Aluvial establecido a lo largo de cursos de agua, ocupando las llanuras y terrazas inundadas periódica o permanentemente, que en la Amazonía constituyen fisonomías de bosques de tierras bajas o bosques de igapó, respectivamente.
				En la región Amazonía, se ve representada por una cobertura predominantemente arbórea, densa, de dosel continuo de plantas leñosas perennes y asociaciones ecológicas con predominio de palmas naturales, de color verde intenso y con textura homogénea. Incluye bosques densos, algunos bosques abiertos y bosques fragmentados. Se encuentran diferentes especies de palma y guadua, nativa o foránea. Estos bosques en general no han sido intervenidos o su intervención ha sido selectiva. Se exceptúan de esta clase las plantaciones asociadas a monocultivos de palma africana o palma de aceite que han sido establecidos de manera antrópica.
			Ecuador	En la región Amazonía Baja, áreas con cobertura arbórea densa, primaria o secundaria y de regeneración por sucesión natural, mayor a media hectárea. Es considerado uno de los bosques más diversos del mundo en especies arbóreas. Bosques siempreverdes de hasta 40 m de altura, multiestratificados, con abundantes lianas y epífitas, que crecen en diferentes formas de relieve, desde bancos de río y terrazas más altas, hasta llanuras de tierra firme y colinas bajas. Incluye áreas con presencia de bambú y palmas nativas. Puede incluir plantaciones forestales de origen antrópico.
				En la región Amazonía Alta, áreas con cobertura arbórea densa, primaria o secundaria y de regeneración por sucesión natural, mayor a media hectárea. Es considerado uno de los bosques más diversos del mundo en especies arbóreas. Bosques siempreverdes de hasta 40 m de altura, multiestratificados, con abundantes lianas y epífitas, que crecen en diferentes formas de relieve, predominantemente en zonas de relieve escarpado de las laderas hiper húmedas de las cordilleras sub-andinas. Puede incluir: pequeñas áreas de Bosque semidecíduo piemontano en la parte sur, además de plantaciones forestales de origen antrópico.

		Andes	Guyana	Bosque aluvial, bosque bien drenado de terrazas de ríos, bosque de planicie sedimentaria, bosque edafoxerofilo piemontano, bosque estacional siempreverde de colinas, bosque húmedo de colinas y bosque húmedo montano, bosque montano, bosque piemontano, bosque ripario, bosque semideciduo estacional y semideciduo montano, bosques sobre arenas blancas, complejo de vegetación sucesional ripario y inselbergs de granito. Bosque resultante de procesos de degradación o procesos de sucesión natural, después de la supresión total o parcial de la vegetación primaria por acciones antropogénicas o causas naturales, y pueden ocurrir árboles remanentes de vegetación primaria.
			Guyana Francesa	Bosque aluvial, bosque bien drenado de terrazas de ríos, bosque de planicie sedimentaria, bosque edafoxerofilo piemontano, bosque estacional siempreverde de colinas, bosque húmedo de colinas y bosque húmedo montano, bosque montano, bosque piemontano, bosque ripario, bosque semideciduo estacional y semideciduo montano, bosques sobre arenas blancas, complejo de vegetación sucesional ripario y inselbergs de granito. Bosque resultante de procesos de degradación o procesos de sucesión natural, después de la supresión total o parcial de la vegetación primaria por acciones antropogénicas o causas naturales, y pueden ocurrir árboles remanentes de vegetación primaria.
			Perú	Incluye todo tipo de bosque denso, con follaje perenne o semideciduo, de porte predominantemente arbóreo que puede alcanzar los 45 m de altura en la región Amazonía Baja (hasta los 500 msnm) y va disminuyendo en altura conforme la altitud alcanza los 3800 msnm, en la región Amazonía Alta. Ubicados en terrazas, colinas y montañas. Incluye bosques con paca y pacales puros; así como plantaciones forestales. Excluye los bosques densos sometidos a inundaciones permanentes o estacionales establecidas en suelos de mal drenaje.
			Surinam	Bosque aluvial, bosque bien drenado de terrazas de ríos, bosque de planicie sedimentaria, bosque edafoxerofilo piemontano, bosque estacional siempreverde de colinas, bosque húmedo de colinas y bosque húmedo montano, bosque montano, bosque piemontano, bosque ripario, bosque semideciduo estacional y semideciduo montano, bosques sobre arenas blancas, complejo de vegetación sucesional ripario y inselbergs de granito. Bosque resultante de procesos de degradación o procesos de sucesión natural, después de la supresión total o parcial de la vegetación primaria por acciones antropogénicas o causas naturales, y pueden ocurrir árboles remanentes de vegetación primaria.
			Venezuela	En la región Amazonía, se consideran todas las formaciones forestales. Incluye todo tipo de bosque con follaje perenne, semideciduo y deciduo, de porte predominantemente arbóreo, ubicados en las zonas bajas, terrazas, colinas y montañas. Incluye plantaciones forestales.
			Bolivia	Bosques secos interandinos y bosques de Polylepis. Los primeros se distribuyen entre los 1000 y 3000 m de altitud, ocupando valles y partes bajas de laderas. Incluyen bosques bajos, deciduos y espinosos, con dosel arbóreo arbustivo de 3 a 5 m de altura y cactus columnares de hasta 10 m; y bosques semideciduos, con dosel arbóreo de 10 a 15 m. Por otro lado, los bosques de Polylepis (kewiñales), son dominados por diversas especies de éste género, los cuales se distribuyen por encima de los 2500 m de altitud formando manchas dispersas en medio de un paisaje dominado por fisonomías campestres.

			Colombia	En la Región Andés se ve representada por una cobertura arbórea densa, compuesta por bosques de alta montaña (andino, altoandino y de transición a páramo), dominados por árboles y arbustos naturales que forman un dosel más o menos continuo, superior a 5 metros de altura pero inferior a 15 metros. De color verde intenso y con textura homogénea. En zonas de pendiente se puede observar una forma de espina de pescado y colores sombreados como efecto de la pendiente. Incluye bosques riparios andinos y vegetación secundaria o en transición, originada por el proceso de sucesión natural luego de una intervención.
			Ecuador	Cobertura forestal densa de bosques multiestratificados, siempreverdes, de hasta 20-25 m de altura, que crecen entre los 2200 y los 3800 m de altitud en las montañas Andinas de Ecuador en zonas húmedas a hiper húmedas y de relieve muy accidentado. Poseen una gran biomasa de epífitas. Los bosques en el cinturón inferior del rango son más altos y pueden mostrar una alta frecuencia de palmeras, mientras que los bosques en el cinturón superior tienden a ser más bajos y tienen una gran proporción de árboles con hojas esclerófilas y / o pequeñas. En las zonas de páramo se incluyen especies de los géneros Polylepis. Puede incluir plantaciones forestales.
			Perú	Incluye tres tipos de bosque: los bosques muy húmedos de la zona norte del país, los relictos del centro y sur, y los bosques secos interandinos. Los primeros son siempre verdes, densos y con árboles que alcanzan hasta los 20 m. Los relictos se caracterizan por árboles dispersos, de porte bajo (hasta 10 m) y se ubican en laderas montañosas casi inaccesibles entre los 2800 y 3800 msnm o en zonas límites de actividad agrícola. Los secos también son dispersos pero se distribuyen en profundos valles interandinos, son de porte arbustivo (< 8 m de alto) y de follaje caducifolio durante el periodo seco.
	Cerrado		Brasil	Tipos de vegetación con predominio de especies arbóreas, con formación continua de dosel (Bosque Ciliar, Bosque de Galería, Bosque Seco y Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008), además de bosques semidecíduos estacionales.
	Chaco		Bolivia	El bosque chaqueño se distribuye en el sur del país y es generalmente decídúo, microfoliado y espinoso. Posee un dosel arbóreo arbustivo de entre 3 a 5 m de altura, con emergentes que llegan a sobrepasar los 10 m, siendo frecuente la presencia de cactus columnares. El bosque chaqueño se desarrolla sobre sedimentos de origen reciente en suelos rojos bien drenados con afloramiento rocoso, caracterizado por árboles de madera dura, cuyas hojas se desprenden durante la estación seca.
	Chiquitano		Bolivia	Los bosques en este bioma se caracterizan por la presencia de numerosas plantas suculentas, en su mayoría espinosas, el dosel es continuo y bajo con especies emergentes aisladas, cuya composición florística y estructura varía según las condiciones edáficas y topográficas. El Bosque medianamente alto semidecídúo con árboles de entre 15-20/-25 m de altura, que forman un mosaico complejo con otras ecoregiones como el Cerrado y las Sabanas Inundables.
	Pantanal		Brasil	Árboles altos y arbustos en el estrato inferior: Bosque estacional caducifolio y semidecídúo, sabana boscosa, sabana esteparia boscosa y formaciones pioneras con influencia fluvial y / o lacustre.
	Tucumano - Boliviano		Bolivia	Bosques que cambian en estructura, composición y periodicidad según su distribución altitudinal en los andes tropicales (entre los 800 y 3500 msnm). Generalmente, por debajo de $\pm 2000$ m de altitud es de tipo semidecídúo, con dosel arbóreo distribuido entre 15 y 20 m de altura, y árboles emergentes que alcanzan poco más de 25 m. Por encima de los $\pm 2000$ m de altitud los bosques son húmedos y siempre verdes, gracias a los vientos alisios. Los árboles conforman un dosel distribuido entre los 20 y 25 m de altura, con emergentes que alcanzan hasta 30 m.

	1.2. Formación sabánica / Bosque abierto	Amazonía	Brasil	Formación de vegetación abierta con una capa arbustiva y / o arbórea más o menos desarrollada, capa herbácea siempre presente (clase mapeada solo en el Ecocono Amazonas / Cerrado).
		Cerrado	Brasil	Formaciones de sabana con estratos definidos arbóreos y arbustivos-herbáceos (Cerrado restringido: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado fino y Cerrado rocoso).
		Pantanal	Brasil	Especie arbórea de pequeño tamaño, escasamente distribuida y dispuesta en medio de una vegetación continua de tamaño arbustivo y herbáceo. La vegetación herbácea se mezcla con arbustos erectos y decumbentes.
		Andes	Perú	Incluye bosques secos interandinos que son árboles dispersos, se distribuyen en profundos valles interandinos y en sus laderas. Son de porte arbustivo bajo (< 8 m de alto) y de follaje caducifolio durante el periodo seco.
	1.3. Manglar	Amazonía		Formaciones de bosques densos y siempre verdes, a menudo inundados por la marea y asociados con el ecosistema costero de manglares.
	1.4. Bosque inundable	Amazonía	Bolivia	Cobertura boscosa conformado por bosques de várzea (inundados por aguas blancas, ricas en sedimentos y minerales) con una comunidad de plantas menos diversa que generalmente se inundan durante aproximadamente dos meses o menos en el transcurso de un año; y bosques de igapó (inundados por aguas negras, ricas en materia orgánica) se inundan por períodos de cinco a seis meses e incluso más, dependiendo de la geografía local, asimismo varían en diversidad florística y apariencia, permaneciendo inundados porque presentan una baja estatura y aspecto de matorral.
			Colombia	Cobertura boscosa con altura de dosel superior a 5 m, presente en áreas cercanas o adyacentes a los cuerpos de agua, caracterizada por especies vegetales que soportan estacionalmente (4-8 meses al año) o permanentemente condiciones de anegación, contando con humedad en el suelo durante la mayor parte del año. Se encuentran generalmente en los planos de inundación de los valles y planicies aluviales.
			Ecuador	Cobertura natural predominantemente arbórea inundada estacional o permanentemente que se encuentra localizada en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua y llanuras de desborde con periodos de inundación
			Perú	Cobertura boscosa ubicada en la gran llanura aluvial y las terrazas que periódicamente o permanentemente se inundan. Crece en suelos de pobre drenaje y abundante materia orgánica con lenta descomposición. En este bosque dominan palmeras, acompañadas de árboles como "renacales" y "pungales".
			Venezuela	Áreas de cobertura boscosa sujetas a fluctuaciones anuales del nivel de los ríos, inundadas estacionalmente o permanentemente dependiendo de su ubicación, con depresiones topográficas permanentemente saturadas.
2. Formación Natural no Forestal	2.1. Formación Natural no Forestal Inundable	Amazonía	Bolivia	Cobertura vegetal ubicada en la llanura aluvial inundable, como herbazales y sabanas hidrofíticas, los cuales se inundan por un largo periodo del año. Grupo de bosques caducifolios que se desarrolla sobre suelos arcillosos o limosos, con mal drenaje estacionalmente inundados en valles fluviales.
			Brasil	Vegetación de llanura aluvial o pastizal que sufre influencia fluvial y/o lacustre.
			Colombia	Vegetación natural herbácea (cobertura mayor al 70%) o arbustiva (cobertura entre el 30 y el 50%), en suelos hidromórficos permanentemente sobresaturados, que durante los períodos de lluvia (4-8 meses al año) pueden estar cubiertos por una lámina de agua. Puede presentar algunos elementos arbóreos en forma de parches ó "matas de monte" y áreas con comunidades de palmas ó "morichales", dispersos, que en ningún caso superan el 10%. Se

				encuentran generalmente en los planos de inundación de los valles y planicies aluviales.
			Ecuador	Cobertura natural predominantemente herbácea que debido a los suelos y la topografía, están sujetas a inundaciones periódicas o permanentes en las cuales sus suelos se saturan de agua durante largos períodos.
			Guyana	Pantano mixto con palmeras y humedales de tierras bajas sujetos a inundaciones periódicas con vegetación herbácea o arbustiva.
			Guyana Francesa	Pantano mixto con palmeras y humedales de tierras bajas sujetos a inundaciones periódicas con vegetación herbácea o arbustiva.
			Perú	Cobertura vegetal ubicada en la llanura aluvial inundable, como herbazales y sabanas hidrofíticas. Caracterizada por suelos de sustratos hidromórficos, los cuales se inundan por un largo periodo del año y que al descender el nivel de inundación, aflora un denso tapiz herbáceo de porte bajo.
			Surinam	Pantano mixto con palmeras y humedales de tierras bajas sujetos a inundaciones periódicas con vegetación herbácea o arbustiva.
			Venezuela	Arbustales inundables permanentes; arbustales ribereños; sabanas arbustiva y/o con palmas, inundable periódico; sabanas abiertas con palmares ribereños; sabanas abiertas, inundable periódico; sabanas abiertas con palmas, inundable periódico; herbazales de hoja ancha, en pantanos sobre turba, inundable permanente; herbazales de hoja ancha, en pantanos, inundable permanente; herbazales de hoja ancha, arbustivo, anegadizo sobre arena blanca, inundable periódico; Vegetación acuática
		Andes	Ecuador	Áreas de cobertura vegetal compuesta por especies nativas herbáceas andinas, que se forman en áreas donde el suelo mantiene condiciones de anoxia de modo perenne que limitan la descomposición de la materia orgánica y promueven la acumulación de suelos orgánicos profundos. Pueden o no estar cubiertos por una lámina de agua. En algunas localidades están dominadas por especies que forman cojines o almohadillas que no superan alturas de 50 cm ( <i>Distichia</i> spp., <i>Plantago</i> rígida, <i>Disterigma</i> <i>empetrifolium</i> , <i>Oreobus</i> <i>ecuadoriensis</i> ), o por mosaicos de especies herbáceas y musgos. Estas formaciones ocurren a elevadas altitudes. (3000-3500 m de elevación). Esta cobertura está constituida principalmente por los llamados páramos inundados, humedales, turberas higrófilas o bofedales.
			Perú	Vegetación siempre verde, compacta y almohadillada, ubicada en los fondos de valles fluvio-glaciales, conos volcánicos y planicies o terrazas altoandinas. Se encuentran a partir de los 3800 msnm, sobre suelos permanentemente inundados y de mal drenaje. Conocida también como Bofedales.
		Cerrado	Brasil	Vegetación con predominio de estrato herbáceo sujeto a inundación estacional (ej. Campo Úmido) o bajo influencia fluvial/lacustre (ej. Brejo). En algunas regiones, la matriz herbácea se presenta asociada a especies arbóreas de formación de sabana (por ejemplo, Parque Cerrado) o palmeras (Vereda, palmar).
		Chiquitano	Bolivia	Vegetación que se desarrolla sobre suelos hidromórficos pesados, arcillosos o limosos, con mal drenaje interno hasta estacionalmente inundados, en llanuras aluviales y valles fluviales. Compuesta por sabanas hidrofíticas con montículos del Cerrado en la Chiquitanía (Pampas-termitero), distribuida en las zonas meridionales y orientales, que se inundan temporalmente en grado variable según la topografía.

		Pantanal	Brasil	Vegetación herbácea con predominio de gramíneas sujetas a inundaciones permanentes o temporales (al menos una vez al año) según los pulsos naturales de inundación. El elemento leñoso puede estar presente en la matriz del campo formando un mosaico con plantas arbustivas o arbóreas (ej: cambarazal, paratudal y carandazal). Las áreas pantanosas generalmente ocurren en los márgenes de lagos temporales o permanentes ocupados por plantas acuáticas emergentes, sumergidas o flotantes (por ejemplo, pantanos y pantanos).
2.2. Formación Campestre	Amazonía		Bolivia	En Amazonía baja, Sabanas con gramíneas, ciperáceas y arbustos dispersos, sabanas de tipo cerrado con pajonales altos y en las cimas de las serranías en zonas con suelos poco profundos. En Amazonía alta están presentes en zonas por encima de los >3.000 m.s.n.m.
			Brasil	Sabana, Sabana Parque (Marajó), Sabana-Estépica (Roraima), Sabana de césped y madera, Campinarana, para regiones fuera del bioma Amazonía / Cerrado. Y para las regiones dentro del Ecotono Amazonas / Cerrado, un predominio de estratos herbáceos.
			Colombia	Vegetación de tipo herbácea (gramíneas) sobre tierra firme, principalmente superficies planas a ligeramente onduladas o disectadas, con presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos o de manera aislada, se localizan principalmente en áreas con limitaciones edáficas, entre los 300 a 800 m.s.n.m. Generalmente está rodeada de bosques de galería con pastizales naturales y algunas áreas degradadas (minería, zonas urbanas, cultivos u otras zonas de uso) o afloramientos rocosos. En algunos periodos del año puede estar cubierta por una lámina de agua que hace que los suelos estén permanentemente sobresaturados. En las sabanas de la Amazonía colombiana el elemento fisiográfico escarceo se asocia con esta cobertura, el cual constituye un microrrelieve en camellones de más de 60 cm de altura fácilmente distinguible por medio de sensores remotos.
			Perú	En la región Amazonía Baja, considera las sabanas hidrofíticas de palmeras en época seca. En el límite transicional con Andes, incluye vegetación gramínea altoandina en ecosistemas de jalca y páramo.
			Venezuela	En la región Amazonía correspondiente a sabanas con o sin presencia de arbustales; Sabanas arbustivas mixtas con chaparrales; Sabanas abiertas; Sabanas arboladas; Sabanas arbustivas con palmas y chaparrales; Sabanas arboladas y arbustivas, no inundable; Sabanas arbustivas; Sabanas abiertas secundarias
			Bolivia	Pajonales, gramíneas, bofedales que se distribuyen en parches dispersos, se presenta en zonas >3.000 m.s.n.m.
	Andes		Ecuador	Áreas de cobertura vegetal compuesta en su mayoría por especies nativas herbáceas (gramíneas) o pastizales naturales tropicales andinos que crecen sobre la línea de bosques.( 3000-3500 m de elevación) y se vuelven más dispersos conforme se asciende altitudinalmente y no están sujetos a períodos de inundación. Esta cobertura está constituida principalmente por los llamados páramos de pajonal, cuya altura no supera los 2 metros, en mosaicos de especies cuyo componente principal son gramíneas de los géneros Festuca y Calamagrostis, y hierbas de los géneros Gentianella, Senecio, Huperzia y Oritophium. Pueden presentar elementos arbóreos o arbustivos dispersos.
			Perú	Pajonales compuestos por vigorosas gramíneas y césped de puna de poca altura o casi al ras del suelo. Esta cobertura se encuentra aproximadamente entre 3000 y 4800 msnm.
		Cerrado	Brasil	Formaciones de pastizal con predominio de estratos herbáceos (campo sucio, campo limpio y campo rupestre) y algunas áreas de formaciones de sabana como Parque de Cerrado y Cerrado rupestre.
		Pantanal	Brasil	Vegetación con predominio de estratos herbáceos, con presencia de arbustos aislados y árboles leñosos raquíuticos. La composición botánica está influenciada por gradientes edáficos y topográficos y por el manejo pastoral (ganadería).

	2.3. Afloramiento Rocosos	Amazonía	Venezuela	Rocas expuestas naturalmente en la superficie de la tierra, a menudo con presencia parcial de vegetación saxícola o rupícola.
		Andes	Ecuador	Masa geológica que emerge a la superficie terrestre y que ocupa extensiones considerables de materiales pétreos de diferentes tamaños. Esta clase por lo general se encuentra a partir de los 4000 metros sobre el nivel del mar, en donde encontramos los pisos altitudinales subalpino, alpino, y nival que se caracterizan por su baja o nula vegetación. Puede incluir cicatrices dejadas por procesos eruptivos, lahares y arenales.
2.4. Otra Formación Natural no Forestal	Amazonía		Bolivia	Arbustales, chaparrales presentes en la región de Amazonía alta, con varios pisos altitudinales y diferentes tipos de vegetación siempreverde, generalmente <3000 m.s.n.m.
			Colombia	En Amazonía, corresponde a una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural los cuales forman una cobertura abierta; cuya intervención es nula o selectiva y no presentan una alteración en su estructura y características funciones originales. En general no presenta elementos de porte arbóreo de manera aislada; se desarrolla sobre afloramientos rocosos de bajo relieve o altitud, algunas áreas de relieve colinados, tepuyes y de suelos arenosos que no retienen humedad de manera significativa. Geomorfológicamente, este tipo de herbazales se desarrollan sobre geformas constituidas por arenas eólicas, afloramientos rocosos y pedregosos del Escudo Guayanés. En la Amazonía colombiana su predominio está asociado a los departamentos de Vaupés y Guainía.
			Ecuador	En la región Amazonía Baja corresponde a vegetación natural con predominio de formaciones arbustivas y herbazales que ocurre en áreas de poca extensión en lugares donde debido a condiciones del ambiente no predominan las coberturas arbóreas. Se incluyen en esta clase áreas con flora altamente especializada, no mapeada en otras clases, como son las áreas dominadas por bambú de la Amazonía.
				En Amazonía Alta corresponde a la cobertura natural no forestal cuya vegetación es una mezcla de herbazales y arbustales que ocurren en áreas de poca extensión con flora altamente especializada, como en el caso del páramo del Volcán Sumaco y en las mesetas y laderas de afloramientos de arenisca en cordilleras subandinas (2000-2400 m de altitud). Estos últimos presentan una mezcla de plantas herbáceas esclerófilas como bromelias y orquídeas que crecen en el suelo, y matorrales esclerófilos con abundantes epífitas y hemi-epífitas. Entre ellos se encuentra una diversidad de helechos y especies herbáceas. También puede incluir: Bosque siempreverde montano bajo sobre mesetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor.
			Guyana	Arbustal montano sobre areniscas, arbustal saxícola montano bajo, herbazal tepuyano y alto tepuyano, palmar hiperestacional de altiplanicie, sabana abierta y sabana abierta costera, sabana arbustiva, sabana pastizal hiperestacional, sabana saxícola montana, vegetación esclerófila sobre dunas y afloramientos rocosos.
			Guyana Francesa	Arbustal montano sobre areniscas, arbustal saxícola montano bajo, herbazal tepuyano y alto tepuyano, palmar hiperestacional de altiplanicie, sabana abierta y sabana abierta costera, sabana arbustiva, sabana pastizal hiperestacional, sabana saxícola montana, vegetación esclerófila sobre dunas y afloramientos rocosos.
			Perú	Cobertura vegetal con predominancia de arbustos y algunos árboles enanos de hojas coriáceas, ubicada en las mesetas ubicadas en la cima de la Cordillera El Cóndor, arriba de los 1800 msnm. Incluye también arbustos en zonas altimontanas, arriba de los 3500 msnm, en contacto con el pajonal andino.
			Surinam	Arbustal montano sobre areniscas, arbustal saxícola montano bajo, herbazal tepuyano y alto tepuyano, palmar hiperestacional de altiplanicie, sabana abierta y sabana abierta costera, sabana

				arbustiva, sabana pastizal hiperestaciona, sabana saxícola montana, vegetación esclerófila sobre dunas y afloramientos rocosos.
			Venezuela	Vegetación propia de los tepuyes, tales como: Arbustales sobre arena y rocas; Arbustales y herbazales sobre turba y roca, alto tepuyano; Arbustales sobre roca y turba, altimontanos; Arbustales sobre roca y turba; Arbustales sobre bauxita; Arbustales sobre arena blanca; Arbustales sobre turba, alto tepuyano; Herbazales de hoja ancha, arbustivo sobre turba; Vegetación pionera.
		Andes	Bolivia	En esta región la fisonomía dominante corresponde a matorrales o arbustos los cuales crecen generalmente por debajo de los 3000 m de elevación. Matorrales y pajonales altimontanos de la Puna y Altiplano xerofíticos sobre suelos bien drenados con barbechos y prados extensos. Constituido principalmente por matorrales xeromórficos con gramíneas y cactáceas.
			Colombia	En Andes, la cobertura vegetal es producto de la sucesión ecológica natural, con hábito de crecimiento arbustivo y herbáceo, desarrollada sobre pisos altitudinales de montaña como formaciones andinas, altoandinas, páramo y bosques de niebla, con poca o ninguna intervención antrópica; dichas comunidades arbustivas forman un dosel irregular con plantas perennes con estructura de tallo leñoso o lignificado con alturas entre los 0,5 y 5 m fuertemente ramificadas y sin una copa definida. Se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de porte bajo. De igual manera abarca herbazales de páramo, subpáramo y alta montaña, algunos herbazales quemados en transición y diferentes tipos de herbazales que pueden presentar algunos elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos.
			Ecuador	Áreas de cobertura vegetal compuesta por especies nativas de predominancia leñosas no arbóreas que no superan los 6 metros de altura. Esta cobertura está constituida principalmente por matorrales tropicales andinos que crecen sobre la línea de bosques. (3000-3500 m de elevación) y se vuelven más abiertos y de cobertura más dispersa conforme asciende altitudinalmente. Arbustales de páramos presentes especialmente en los páramos que no se quemaron con frecuencia. La cobertura puede incluir también matorrales semidecíduos de los valles secos y vegetación pionera y sucesional que ocurre en las quebradas de ríos en zonas antropizadas.
			Perú	Cobertura vegetal con predominancia de herbáceas y arbustos (matorrales), desde aproximadamente los 1500 hasta 3800 msnm, hasta el límite de los pajonales naturales. Se distinguen tres subtipos de matorral según las condiciones climáticas: Los matorrales a partir de 1500 msnm (norte del país) son influenciados por la condición de humedad del suelo árido; los de piso medio y alto, entre los 2500-3800 msnm, están dominados por arbustos caducifolios y perennifolios en condiciones subhúmedas; y los del nivel superior, entre los 2000-3500 msnm (centro del país y valles interandinos), los 3500-3800 msnm (centro occidental) y entre los 3600 y 3800 (sur del país), donde en todos ellos existe mejor condición de humedad y menores valores de temperatura.
		Chaco	Bolivia	Está conformado por chaparrales en suelos muy arenosos, donde las arenas han cubierto el suelo con sedimentos limosos y arcillosos, depositados en las viejas llanuras aluviales. El clima es muy cálido pero con fuertes descensos de temperatura en la época seca por la afluencia de los frentes fríos del sur. Se caracteriza por tener un clima marcadamente seco con lluvias de verano, los niveles de precipitación varían de norte a sur entre los 1.000 y 400 mm.
		Chiquitano	Bolivia	Están conformados florísticamente por los chaparrales del Abayoy que en su mayoría comprende elementos amplios del Cerrado, seguido de algunos componentes florísticos del Gran Chaco, caracterizados por sus suelos arenosos. Además, presenta

				arbustales, matorrales y bosques bajos con frecuentes bromeliáceas espinosas, cactáceas y helechos xeromórficos.
		Tucumano-Boliviano	Bolivia	Están conformados por fisonomías predominantemente matorrales y pajonales, las cuales se limitan a las cimas de las serranías y/o zonas con suelos poco profundos, o con afloramientos rocosos.
3. Agropecuaria y silvicultura	3.1 Pasto	Amazonía	Bolivia	Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastizales naturales donde son evidentes las prácticas de manejo ganadero y además de pasturas cultivadas (Brachiarias, Festuca, Sorgo forrajero, etc) para ganadería. Los pastos plantados o alimento forrajero perenne tiene una duración de 4, 5 o más años, manteniendo el suelo cubierto todo el año.
			Brasil	Superficie de pasto, predominantemente sembrada, vinculada a la actividad agricultura. Las áreas de pastos naturales son predominantemente clasificada como formación de pastizal que puede o no ser pastoreada.
			Colombia	En Amazonía, esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios donde la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. En estas áreas se observa un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios, que pueden llegar a presentar inundaciones temporales o permanentes.
			Perú	Áreas ocupadas por pasto, en su mayoría cultivadas y vinculadas a la actividad pecuaria, se encuentra compuesta por vegetación herbácea, principalmente de gramíneas. Puede incluir áreas degradadas donde alguna vez se ha llevado a cabo la actividad ganadera y actualmente se encuentra en abandono para su recuperación.
			Venezuela	Áreas de vegetación que sirven para el sustento y desarrollo de animales de cría. Predomina la vegetación herbácea (como leguminosas, gramíneas, entre otras) que el ganado consume en el mismo terreno donde se cría y se mantiene.
		Andes	Bolivia	En la puna andina (> 4 000 metros de altura), verdaderos ganaderos que hacen uso de prácticas ancestrales adaptadas a sus objetivos de producción y al rudo medio natural, ganadería ovina, caprina, y vacuno manejan importantes rebaños de ovinos y/o alpacas. Estos pastores producen animales vivos para vender su carne y su lana.
			Colombia	En Andes, comprende las tierras cubiertas con pastos limpios, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. En las zonas altas se ubica más cerca de la falda de las montañas o en los valles. Al igual que en Amazonía se presentan patrones geométricos como efecto de la parcelación de los predios.
			Ecuador	Vegetación herbácea dominada por especies de gramíneas introducidas, utilizadas con fines pecuarios (de pastoreo), que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo.
			Perú	Áreas de pasto, plantado o natural, vinculadas a la actividad pecuaria. Los pastos naturales altoandinos están conformados por el grupo perteneciente a las gramíneas, pseudo gramíneas y hierbas. Las especies forrajeras cultivadas que existen en la región andina, están conformadas por variedades de las especies alfalfa, avena y las pasturas asociadas Rye grass, Dactylis y trébol.
		Chaco	Bolivia	En el Chaco boliviano se viene implementando una nueva forma de explotación ganadera, caracterizada por un manejo semi-intensivo, denominada "ganadería comunitaria sostenible" o nueva ganadería, en comunidades donde el uso sostenible y racional del monte y agua son sus principales pilares, esto acompañado de un manejo riguroso del hato ganadero. Se caracteriza por la construcción de atajados para dotar agua al ganado por la escasez de forraje y agua en época seca.

		Chiquitano	Bolivia	El bioma Chiquitano es históricamente un territorio con vocación pecuaria semi-extensiva o ganadera, esta zona se caracteriza por presentar pasturas sembradas y en menor proporción naturales. Se practica la rotación de ganado debido a la carencia de agua. En la actualidad es una zona importante para la exportación de carne de res a mercados internacionales y consumo interno.
		Tucumano-Boliviano	Bolivia	La crianza de ganados se practica bajo un sistema de producción extensivo, donde la administración es familiar y siguiendo sistemas tradicionales. Se practica una rotación de pastoreo, donde en las zonas altas y menos húmedas se pastorean en épocas de lluvia y las zonas bajas en época de sequía. Esta actividad se realiza generalmente en las propiedades comunales, en el bosque o praderas son los espacios para pastoreo del hato ganadero.
3.2 Agricultura		Amazonía	Bolivia	La producción agrícola se desarrolla básicamente para consumo interno y se concentra en cultivo de arroz, cacao, caña panelera, frijol, maíz, plátano, papaya, frutales (cítricos) y yuca. La variación de pisos altitudinales y de climas genera una diversidad de cultivos.
			Colombia	En Amazonía, Incluye áreas dedicadas a cultivos permanentes (a excepción de palma aceitera), transitorios, posibles áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas, del mismo modo, se consideran cultivos de especies herbáceas y cultivos arbustivos. En este bioma, la modalidad está orientada hacia una intensidad agrícola menor y más dispersa, luego, en cuanto a su forma se pueden presentar usualmente como cúmulos agrupados que se van dispersando hacia el exterior, o en algunas zonas como conjuntos de lotes y parcelas definidas; a su vez pueden ser cercanos a poblaciones, comunidades indígenas y fuentes hídricas.
			Ecuador	Áreas dedicadas a la producción de alimentos, fármacos y productos industriales; incluyen principalmente cultivos, plantaciones, huertas, tierras en descanso y áreas con especies herbáceas para la alimentación animal. Se encuentran tres tipos de cultivos: 1) Anuales: cultivos cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año (arroz, maíz, algodón, soya, tomate riñón, melón, sandía, soya, etc); 2) Permanentes: cultivos agrícolas de una duración de más de 10 años, destinados principalmente a la exportación y la agroindustria (café, cacao, frutales de costa); 3) Semipermanentes: cultivos agrícolas mayores a un año destinados en su mayoría, a la exportación y la agroindustria (banano, plátano, abacá, palmito y caña de azúcar) y que permanecen en el terreno por un período variable entre 2 a 10 años.
			Guyana	
			Guyana Francesa	
			Perú	Áreas donde la cobertura original ha sido modificada o reemplazada por cultivos anuales, temporales y perennes. Pueden estar activos o ser tierras en reposo. En el bioma Amazonía predominan cultivos de cereales, arroz y palma aceitera.
			Surinam	
			Venezuela	Comprende zonas de vegetación destinadas al conjunto de actividades económicas y técnicas relacionadas con el tratamiento del suelo y el cultivo de la tierra para la producción de alimentos. La actividad agrícola presenta niveles aceptables de producción de rubros como ñame, maíz, yuca, plátano, entre otros. Dentro de estas áreas también se encuentra la agricultura propia de los pueblos indígenas (conucos).

			Bolivia	Se encuentran áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. Los cultivos transitorios se localizan en áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses con la característica de que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.
		Andes	Colombia	En Andes, incluye áreas dedicadas a cultivos permanentes (a excepción de palma aceitera), transitorios, posibles áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas, del mismo modo, se consideran cultivos de especies herbáceas y cultivos arbustivos. En este bioma su modalidad es focalizada y puntual debido a la presencia de ecosistemas de páramo y su accidentalidad del relieve, por lo tanto, en su mayoría presentan una geometría hacia lotes o parcelas con tendencia a ser definidas, relativamente cercanas a centros urbanos.
			Ecuador	Áreas dedicadas a la producción de alimentos, fármacos y productos industriales; incluyen principalmente cultivos, plantaciones, huertas, tierras en descanso y áreas con especies herbáceas para la alimentación animal. Se encuentran tres tipos de cultivos: 1) Anuales: cultivos cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año (maíz, arveja, fréjol, cebada, trigo, avena, col, remolacha, zanahoria, lechuga, espinaca, brócoli, cebolla colorada (paiteña), cebolla blanca, ajo, papas, flores, etc); 2) Permanentes: cultivos agrícolas de una duración de más de 10 años, destinados, principalmente a la exportación y la agroindustria (café, frutales de sierra, etc); 3) Semipermanentes: cultivos agrícolas mayores a un año, destinados, en su gran mayoría, a la exportación y la agroindustria (palmito y caña de azúcar) y que permanecen en el terreno por un período variable entre 2 a 10 años.
			Perú	Áreas donde la cobertura original ha sido modificada o reemplazada por cultivos anuales, temporales y perennes. Pueden estar activos o ser tierras en reposo. Se encuentran en los fondos y laderas de los valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino. En el bioma Andes predomina el cultivo de cereales, tubérculos, hortalizas, árboles frutales, paltas, etc.
			Chaco	Bolivia
		Chiquitano	Bolivia	Tomando en cuenta como base la cobertura del tipo de bosque y las áreas quemadas reportadas en los últimos años de forma marcante se puede decir que la ampliación de la frontera agrícola es significativamente principal para el cultivo de grandes extensiones de Soya . Los rubros de mayor importancia en la producción agrícola son el maíz, arroz, yuca, fréjol, plátano, guineo y cítricos.
		Tucumano - Boliviano	Bolivia	La producción agrícola se realiza mediante sistemas agroforestales con productos como la uva, durazno, manzana, etc. Se maneja el enfoque de "territorio" para efectuar cultivos tradicionales dirigidos a la producción de cereales, haba, arveja, maíz y hortalizas a secano y riego para autoconsumo, así mismo los cultivos de hortalizas, tubérculos, cereales y frutales para la comercialización.
		Amazonía	Brasil	Especies arbóreas plantadas con fines comerciales (p. ej., pino, eucalipto, araucaria).

		Andes	Ecuador	Masa boscosa formada antrópicamente con una o diferentes especies madereras nativas o introducidas, que tienen los mismos años de vida, presentan una separación homogénea, con manejos silviculturales y dedicada a varios fines como: producción maderera, protección, recuperación del suelo o recreación. En referencia a las especies introducidas, los bosques de eucalipto sin llegar a ocupar grandes espacios, pues en su mayoría no han sido plantados con fines de explotación sino más bien con fines de protección, como barreras rompevientos, para evitar el arrastre de sedimentos por la influencia eólica y control de deslaves en terrenos con mucha pendiente. Los bosques de pino de las especies Pátula y Radiata, se han establecido con fines de reforestación y explotación maderera.
			Perú	Esta cobertura corresponde a todas las áreas forestadas por especies exóticas ( <i>Pinus</i> sp y <i>Eucalyptus</i> sp.) ubicadas en tierras con aptitud forestal en la región andina, desde aproximadamente 3000 a 3800 m. s. n. m. En estas superficies se han establecido árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de laderas, protección de espejos de agua, detener la erosión del suelo y regular el agua de escorrentía. Esta plantación forestal se desarrolla muy bien en climas desde subhúmedo hasta húmedo, es decir, arriba de los 500 mm/año.
3.4. Palma aceitera	Amazonía		Colombia	Esta cobertura se presenta en el bioma Amazonía y está predominantemente compuesta por el cultivo o monocultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) a escala industrial, planta perenne de tronco solitario y hojas pinnadas perteneciente a la familia <i>Arecaceae</i> , que puede alcanzar alturas de hasta 12 m. Su cultivo se desarrolla preferencialmente en terrenos planos a ligeramente ondulados, en tierras situadas por debajo de los 500 msnm, bajo climas cálidos
			Ecuador	Cultivo permanente, principalmente de <i>Elaeis guineensis</i> , planta tropical del género de palmas, propia de climas cálidos. Puede incluir otros cultivos permanentes de características similares al de la palma aceitera
3.5 Mosaico de agricultura y/o pastos	Amazonía		Bolivia	En la región Amazonía Alta, incluye agricultura a pequeña escala, así como cultivos perennes de coca, café y cítricos. En la región Amazonía Baja, se practica la agricultura mecanizada, principalmente el norte del departamento de Santa Cruz. Sin embargo, en los últimos años, se ha incrementado las actividades ganaderas, provocando la sustitución de extensas áreas naturales por pasturas introducidas.
			Colombia	En Amazonía, esta cobertura abarca un área en constante expansión ya que no presenta limitaciones topográficas con ciclos de cosecha duraderos, alternados entre el manejo de pastos y cultivos, algunos de los cultivos que se pueden encontrar son: café, frutales, cacao entre otros. Conformado por una asociación de cultivos (permanentes y/o transitorios), pastos (en rotación, descanso y/o barbecho) dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, al igual que zonas agrícolas heterogéneas con usos tanto pecuarios como agrícolas. Poseen un patrón geométrico definido y en algunos cultivos de gran escala tienen un patrón dendrítico que siguen la disposición de las vías de acceso y las zanjas de drenaje para la exportación. Los cultivos transitorios poseen un ciclo vegetativo menor a un año, los cuales después de la cosecha se requiere volver a plantar para seguir produciendo. Los cultivos permanentes poseen un ciclo vegetativo mayor a un año, produciendo varias cosechas sin volver a plantar, estos incluyen cultivos de herbáceas y arbustivos. En los pastos se incluyen áreas dedicadas al pastoreo permanente de más de 2 años, pueden presentar anegamientos temporales o permanentes en zonas bajas o depresiones del terreno.

			Ecuador	Son áreas donde la cobertura natural ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de coberturas vegetales para uso antrópico y donde ocurren agrupaciones de especies cultivadas para la producción de alimentos o fibras y que se encuentran en mosaico y por lo tanto no pueden ser individualizadas; y excepcionalmente pueden estar asociadas con áreas en descanso o vegetación natural sucesional.
			Guyana	Plantaciones de arroz en la región costera y áreas de uso agrícola donde no fue posible distinguir entre pasturas y agricultura principalmente en la orilla del río.
			Guyana Francesa	Plantaciones de arroz en la región costera y áreas de uso agrícola donde no fue posible distinguir entre pasturas y agricultura principalmente en la orilla del río.
			Perú	Áreas de uso agropecuario, en las cuales no fue posible separar las clases agricultura y pasto. En el bioma Amazonía predomina el cambio de uso hacia la ganadería y cultivos de cereales y palma aceitera.
			Surinam	Plantaciones de arroz en la región costera y áreas de uso agrícola donde no fue posible distinguir entre pasturas y agricultura principalmente en la orilla del río.
			Venezuela	En la región Amazonía Baja, áreas donde la vegetación natural ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de cubiertas vegetales de origen antrópico
		Andes	Bolivia	Ganadería (vacunos, ovinos, caprinos y camélidos), agricultura de pequeña escala, por ejemplo quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) y agricultura mecanizada.
			Colombia	En el bioma Andes cuenta áreas reducidas debido a la topografía de la zona, la cual presenta fuertes pendientes que dificultan el desarrollar este tipo de cobertura, la cual se centra en su gran mayoría en la mezcla de áreas dedicadas a ganadería y cultivos de pancoger (como la arveja, mora, maíz, frijol, entre otros..) los cuales van rotando a lo largo del año según la época de cosecha. Conformado por una asociación de cultivos (permanentes y/o transitorios), pastos (en rotación, descanso y/o barbecho) dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, al igual que zonas agrícolas heterogéneas con usos tanto pecuarios como agrícolas. Poseen un patrón geométrico definido y en algunos cultivos de gran escala tienen un patrón dendrítico que siguen la disposición de las vías de acceso y las zanjas de drenaje para la exportación. Los cultivos transitorios poseen un ciclo vegetativo menor a un año, los cuales después de la cosecha se requiere volver a plantar para seguir produciendo.
			Ecuador	Son áreas donde la cobertura natural ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de coberturas vegetales para uso antrópico y donde ocurren agrupaciones de especies cultivadas para la producción de alimentos o fibras y que se encuentran en mosaico y por lo tanto no pueden ser individualizadas; y excepcionalmente pueden estar asociadas con áreas en descanso o vegetación natural sucesional.
			Perú	Áreas de uso agropecuario, en las cuales no fue posible separar las clases agricultura y pasto. En el bioma Andes predomina la ganadería y el cultivo de cereales, tubérculos y hortalizas, ubicados en el fondo y laderas de valles interandinos.
		Chaco	Bolivia	Se practica la siembra escalonada en sus cultivos de maíz, con esto se logra asegurar la germinación y brote de las plantas aprovechando la disponibilidad de humedad en el suelo luego de las lluvias, con lo que se logra optimizar el uso de sus tierras y la mano de obra, además de asegurar mejores rendimientos. Otra actividad importante es la crianza de bovinos criollos, el monte chaqueño es extenso pero escaso en recursos hídricos, junto a la disponibilidad de forraje, por lo que se ha implementado el manejo de producción de pasto y con

			esto se posibilita la producción de forraje que logra abastecer la alimentación en los meses más críticos.	
		Chiquitano	Bolivia	Ganadería de ramoneo, extracción de combustible vegetal (leña y producción de carbón), agricultura de pequeña escala (comunidades campesinas) y gran escala (empresas agrícolas y colonias menonitas).
		Tucumano-Boliviano	Bolivia	Ganadería de ramoneo, extracción selectiva de especies con valor forestal, y actividades agrícolas a pequeña escala.
4.1. Infraestructura Urbana			Bolivia	Infraestructura urbana se comprende a todas las redes de servicios y estructuración vial necesarios para el establecimiento de equipamiento urbano y vivienda, cuyas características urbanísticas son: estructuración vial, límites construidos predominantes, tipologías de entramado urbano de las diferentes zonas, estructuración de las redes de equipamiento y servicio público, que en suma permitan la comprensión de la "forma urbana" para describir su conformación, tipo de trazo, densidad edificada y etc.
			Brasil	Áreas con una densidad significativa de edificios y carreteras, incluidas las áreas libres de edificaciones e infraestructura.
			Colombia	Área de asentamiento humano asociada a grandes y pequeños centros urbanos (pueblos) con infraestructura de entorno construido como redes viales, ferroviarias y terrenos asociados, además de otras zonas artificializadas como obras de explotación de hidrocarburos, hidroeléctricas, bases militares, aeropuertos, zonas portuarias y zonas verdes no agrícolas como instalaciones recreativas en centros urbanos, prados urbanos, separadores viales y pistas de aterrizaje no convencionales en zonas rurales. También se consideran áreas periféricas que están siendo incluidas en un proceso gradual de urbanización hacia fines residenciales y/o zonas industriales.
			Ecuador	Área de asentamiento humano asociada a grandes y pequeños centros urbanos (pueblos) con infraestructura de entorno construido como redes viales, ferroviarias y terrenos asociados, además de otras zonas artificializadas como obras de explotación de hidrocarburos, hidroeléctricas, bases militares, aeropuertos, zonas portuarias y pistas de aterrizaje no convencionales en zonas rurales. También se consideran áreas periféricas que están siendo incluidas en un proceso gradual de urbanización hacia fines residenciales y/o zonas industriales.
			Guyana	Área de asentamiento humano con infraestructura de entorno construido (vialidad, edificaciones, etc.). También se incluye el desarrollo urbano y los centros poblados ubicados en las periferias que están en constante expansión.
			Guyana Francesa	Área de asentamiento humano con infraestructura de entorno construido (vialidad, edificaciones, etc.). También se incluye el desarrollo urbano y los centros poblados ubicados en las periferias que están en constante expansión.
			Perú	Áreas asociadas a centros urbanos, dónde se han identificado edificaciones construidas. Además se incluyó diversos tipos de infraestructura como parques urbanos, carreteras, aeropuertos, áreas industriales, bases militares y petroleras. Cabe resaltar que las áreas que han sido mapeadas, son aquellas cuya respuesta espectral ha permitido diferenciarla de otras coberturas, por ello centros poblados pequeños no han sido identificados.
			Surinam	Área de asentamiento humano con infraestructura de entorno construido (vialidad, edificaciones, etc.). También se incluye el desarrollo urbano y los centros poblados ubicados en las periferias que están en constante expansión.
			Venezuela	Área de asentamiento humano con infraestructura de entorno construido (vialidad, edificaciones, etc.). También se incluye el

			desarrollo urbano y los centros poblados ubicados en las periferias que están en constante expansión.
4.2. Minería	Bolivia		En Bolivia se tiene dos tipos de minería a cielo abierto y aluvial. La minera presente en la explotación subterránea y/o a cielo abierto, se caracteriza porque el mineral extraído en ambos casos es llevado a plantas de tratamiento o concentración, también se emplean medios mecánicos o explosivos para remover los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma al yacimiento, o banco de materiales. La minería aurífera/aluvial comprende tanto la explotación de yacimientos primarios como secundarios, en la actualidad, la explotación está centrada principalmente en las cuencas de los ríos Tipuani y K'aka, donde se explotan depósitos en cauces de ríos antiguos o en plataformas y terrazas de ríos recientes.
	Brasil		Áreas relacionadas con la extracción industrial o artesanal de minerales (garimpos), con clara exposición del suelo por acción humana. Solo se consideran las áreas cercanas a las referencias de recursos espaciales minerales de CPRM (GeoSGB), de AhkBrasilien (AHK), del proyecto DETER (INPE), del Instituto Socioambiental (ISA) y FL Lobo et al. 2018.
	Colombia		Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales de la actividad minera a cielo abierto o minería fluvial con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal, además, se incluyeron piscinas de sedimentación asociadas a esta actividad.
	Ecuador		Áreas superficiales de extracción de materiales pétreos o minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial o artesanal, legal o ilegal, metálica o pétreo. La mayoría es aluvial, no es actividad que se pueda estar realizando en minas subterráneas. No se ha mapeado minería en el bioma Andes.
	Guyana		Áreas de extracción de minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal.
	Guyana Francesa		Áreas de extracción de minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal.
	Perú		Áreas de extracción de minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal.
	Surinam		Áreas de extracción de minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal.
	Venezuela		Áreas de extracción de minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal.
	4.3. Otra Área sin Vegetación	Bolivia	
Brasil			Áreas de superficies no permeables (infraestructura, expansión urbana o minería) no asignada en sus clases.
Colombia			Áreas que pueden contener vegetación natural o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y zonas arenosas naturales como playas o dunas.
Ecuador			Áreas con poca o nula vegetación, pueden ser de origen natural o antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos, playas de cuerpos de agua, caminos y carreteras, pistas de aterrizaje, patios industriales, y zonas de reciente deforestación.
Guyana			Áreas naturales de poca o nula vegetación o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y playas de cuerpos de agua.
Guyana Francesa			Áreas naturales de poca o nula vegetación o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y playas de cuerpos de agua.

		Perú	Áreas naturales de poca o nula vegetación o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y playas de cuerpos de agua.
		Surinam	Áreas naturales de poca o nula vegetación o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y playas de cuerpos de agua.
		Venezuela	Áreas de poca o nula vegetación natural o de origen antrópico no mapeadas en sus clases. Dentro de esta clase se incluye la infraestructura asociada a represas, aeródromos, patios industriales, puertos y principales vías terrestres.
5. Cuerpo de agua	5.1. Río, Lago u Océano		Extensión de agua superficial natural o artificial. Comprende ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua.
	5.2. Glaciar		Área de cobertura o masa de hielo permanente, localizados en las cumbres andinas, producto de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve.
6. No Observado			Áreas que no han podido ser identificadas en sus clases por presencia de nubes, sombra de nubes, ruido atmosférico o calidad de las imágenes de satélite.