



Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD)

RAISG - MapBiomas Amazonía - Colección 2

Versión 1

Julio de 2020

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.

MapBiomas 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, MapBiomas 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 Pan 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 MapBiomas, crean la iniciativa MapBiomas 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 2 de MapBiomas Amazonía, que contempla el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo en la Pan Amazonía, entre los años 1985 y 2018.

1. Introducción	4
1.1. Alcance y contenido del documento	4
1.2. La Colección 2	4
1.3. Área de estudio	5
1.4. Aplicaciones	6
2. Información básica y antecedentes	7
2.1 Contexto institucional	7
2.1.1. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada - RAISG	7
2.1.2. Iniciativa RAISG para el mapeo de la deforestación	8
2.1.3 Iniciativa MapBiomas	9
2.2. Distribución de biomas por país	10
2.3 Datos de Percepción Remota	11
2.4. Google Earth Engine y MapBiomas Amazonía	11
2.5. Otras iniciativas de mapeo	12
2.5.1. Fuentes mundiales	12
2.5.2. Fuentes para la región Panamazónica	13
2.5.3. Fuentes para otras regiones de Sudamérica	14
3. Metodología	15
3.1 Generación de mosaicos anuales	15
3.1.1. División del espacio de análisis en cartas	15
3.1.2. Parametrización de mosaicos anuales	18
3.1.3. Variables de clasificación o feature space	19
3.2 Clasificación	23
3.2.1. Subregiones de clasificación	23
3.2.2. Leyenda	24
3.2.3. Colecta de muestras	25
3.2.4. Random Forest	26
3.2.5. Temas transversales	26
3.3. Post clasificación	26
3.3.1 Filtro Temporal	26
3.3.2 Filtro Espacial	28
3.3.3 Gap fill	28
3.3.4 Filtro de frecuencia	29
3.3.5 Filtro de incidencia	30
3.3.6. Reclasificación	30
3.4. Integración	30
3.5 Mapas de transiciones	31
3.6 Estadísticas	31
3.7 Descarga de datos	31

4. Validación	32
5. Consideraciones prácticas y desafíos	33
6. Referencias	33
7. Apéndices por país	34
8. Anexos	35
Anexo 1: Descripción de clases por país y bioma, según la leyenda de la Colección 2 MapBiomas Amazonía	35

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 MapBiomas Amazonía.
- Figura 3. Mapa de Biomas definidos en la Pan Amazonía y los países que lo comprenden.
- Figura 4. Interfaz del Workspace de MapBiomas Amazonía.
- Figura 5. Síntesis metodológica de la Colección 2 de MapBiomas Amazonía.
- Figura 6. Grilla de cartas MapBiomas, grilla de imágenes Landsat y límite RAISG.
- Figura 7. Proceso de generación de mosaicos anuales de imágenes Landsat.
- Figura 8. Mapa de Subregiones de clasificación definidas en la Pan Amazonía y los países que lo comprenden.
- Figura 9. Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- Figura 10. Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- Figura 11. Funcionalidad del filtro de Gap Fill en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- Figura 12. Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- Figura 13. Funcionalidad del filtro de incidencia en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

Lista de Tablas

- Tabla 1. Área de los países de la cuenca amazónica dentro del límite RAISG.
- Tabla 2. Biomas en los países dentro del límite RAISG.
- **Tabla 3.** Resumen del número de cartas MapBiomas por país y región.
- Tabla 4. Descripción de bandas y variables empleadas para la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- Tabla 5. Subregiones de clasificación por país y bioma.
- Tabla 6. Clases de cobertura y uso del suelo de la Colección 2 MapBiomas Amazonía.
- **Tabla 7.** Reglas de prevalencia de 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 Pan Amazonía desde el año 1985 hasta 2018 de la Colección 2 de mapas MapBiomas Amazonía.

Este documento cubre los métodos de clasificación de imágenes Landsat (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 Pan 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 4.1, cuyos documentos técnicos se pueden ser encontrados en: http://mapbiomas.org/

1.2. La Colección 2

La iniciativa MapBiomas Amazonía de la RAISG comenzó en marzo de 2017 con el propósito de apoyar a entender la dinámica de la cobertura y uso de suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en toda la Pan 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 MapBiomas; iii) las organizaciones que forman parte de MapBiomas Amazonía, que con su experiencia llevan a cabo el mapeo de sus territorios; y iv) el apoyo de financiadores visionarios que respaldan el proyecto.

En marzo de 2018, MapBiomas Amazonía lanzó el primer producto de este proyecto, al que nos referimos como la **Colección 1**, compuesta de mapas temáticos anuales de 30 metros de resolución espacial para toda la Pan Amazonía *para el periodo 2000 a 2017*. Asimismo, incluyó los *mosaicos anuales de imágenes de satélite utilizados*, conformados por 34 capas de información (7 bandas espectrales y 27 índices derivados); y las estadísticas derivadas de los mapas, por país, departamento, municipio, bioma, cuenca hidrográfica, territorios indígenas y unidades de conservación.

La **Colección 2**, marcó la transición de un enfoque metodológico basado en árboles de decisión empíricos empleado en la Colección 1, hacia la aplicación del clasificador de *machine learning* "random forest". Difiere además de la Colección 1 por su mayor alcance temporal (de 1985 a 2018). Esta colección incluye:

- Mosaicos anuales de imágenes de satélite para la Pan Amazonía. Archivos conformados por 81 capas de información que incluyen las bandas landsat originales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices.
- Mapas anuales de cobertura y uso de suelo para el periodo 1985 a 2018. Mapas temáticos anuales de 30 metros de resolución espacial para toda la Pan Amazonía.

• Estadísticas por clase de cobertura o uso por año, junto con estadísticas de cambio (transición entre clases), por unidades de análisis: país, departamento, municipio, bioma, cuenca hidrográfica, territorios indígenas y unidades de conservación.

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 8'470,210 Km², 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.

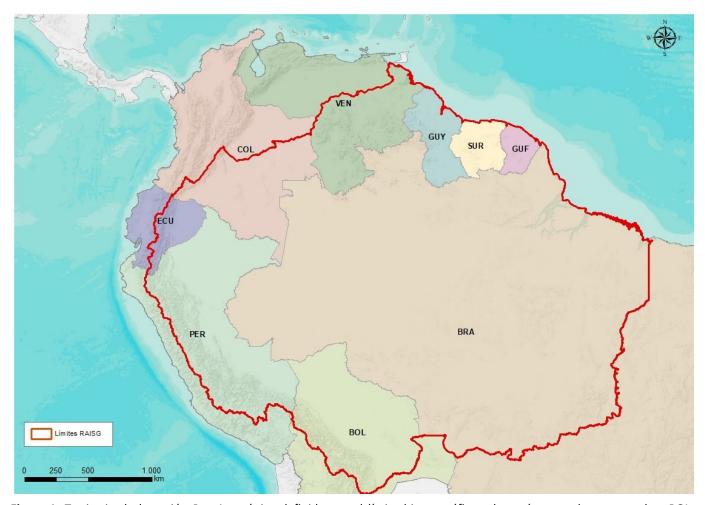


Figura 1. Territorio de la región Pan-Amazónica definida por el límite biogeográfico y los países que la comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela).

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

País	Área (km²)	Porcentaje
Bolivia	714, 834	8.4%
Brasil	5′ 238, 590	61.8%
Colombia	506, 181	6.0%
Ecuador	132, 292	1.6%
Guyana	211, 157	2.5%
Guyana Francesa	84, 226	1.0%
Perú	966, 185	11.4%
Surinam	146, 523	1.7%
Venezuela	470, 219	5.6%
Total	8 470 207	

1.4. Aplicaciones

Los productos de MapBiomas 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 Panamazónica. 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. MapBiomas Amazonía no solo complementa los esfuerzos ya existentes nacional y globalmente, pero trae consigo ventajas adicionales como son: 1) los mapas MapBiomas 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) MapBiomas 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)
- Brasil: Instituto Socioambiental (ISA, <u>www.socioambiental.org</u>) e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon, <u>imazon.org.br</u>)
- Colombia: Fundación Gaia Amazonas (FGA, www.gaiaamazonas.org)
- Ecuador: Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos (EcoCiencia, www.ecociencia.org)
- Perú: Instituto del Bien Común (IBC, <u>www.ibcperu.org</u>)
- Venezuela: Provita (<u>www.provita.org.ve</u>) y Wataniba (<u>www.watanibasocioambiental.org</u>)

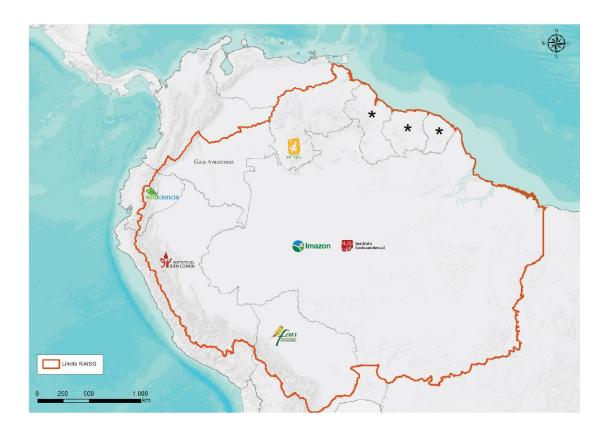


Figura 2. Instituciones que conforman la iniciativa MapBiomas Amazonía. *Para propósitos de la iniciativa MapBiomas Amazonía, los mapas de Guyana, Guyana Francesa y Surinam fueron elaborados mediante una consultoría liderada por Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, con la colaboración 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 complementandose 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; el segundo para 2013-2015, y el tercero para 2016-2020. 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 Pan 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 (EE), 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 Pan 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 dos series históricas anuales de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo (Colección 1 que comprende todos los años entre 2000 y 2017, y la Colección 2, para todos los años entre 1985 y 2018), a partir de la cual se derivan mapas de deforestación anuales.

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; los cuales pueden ser descargados de la página web de RAISG: https://www.amazoniasocioambiental.org

2.1.3 Iniciativa MapBiomas

El proyecto "Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil" (MapBiomas, http://mapbiomas.org/) es una iniciativa de SEEG / OC (Sistema de estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero del Observatorio Climático, http://plataforma.seeg.eco.br/) producida por una red de colaboración formada por ONGs, universidades y empresas brasileñas.

La iniciativa MapBiomas Brasil abarca la totalidad de su territorio continental, dividido en 6 biomas: Amazonía, Caatinga, Cerrado, Mata Atlántica, Pampa y Pantanal. Adicionalmente se mapean temas transversales (e.g. Pastizales, Agricultura, Zonas Costeras) a cargo de instituciones específicas para su elaboración. Cada colección publicada involucra una mejora en relación a la precedente, ya sea en términos metodológicos como en amplitud del periodo de análisis. A la fecha, la colección 4.1 es su producto más reciente y fue elaborado con características metodológicas y temporales equivalentes a la Colección 2 MapBiomas Amazonía, por lo que ambas han sido integradas para el área de estudio de la RAISG de la presente Colección.

De acuerdo con el portal web del proyecto MapBiomas (http://mapbiomas.org), éste busca contribuir a la comprensión de la dinámica de uso del suelo en Brasil y otros países tropicales con base en:

- El desarrollo e implementación de una metodología de bajo costo, rápido y fiable para generar mapas anuales de cobertura y uso del suelo en Brasil desde 1985 hasta la actualidad (y actualizaciones anuales posteriores).
- La creación de una plataforma abierta que facilite la difusión de la metodología a otros países y regiones utilizando los mismos algoritmos básicos.
- Establecer una red de colaboración de expertos para trabajar la cartografía de la cobertura del suelo y su dinámica de cambio.

2.2. Distribución de biomas por país

La Pan 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 denomina **biomas** (Tabla 2, Figura 3).

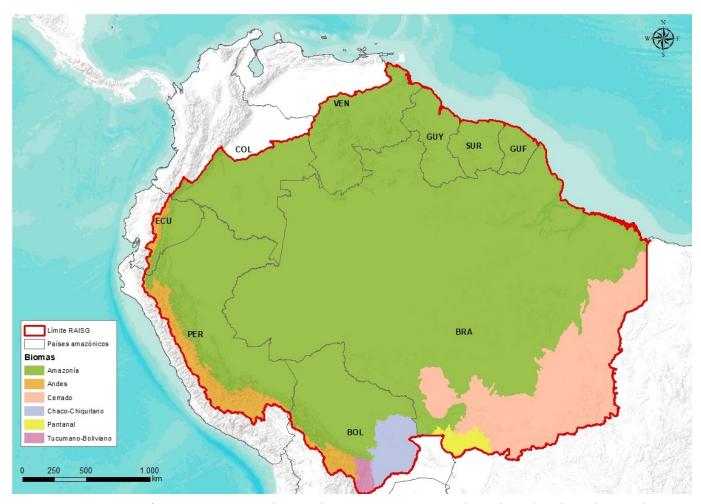


Figura 3. Mapa de Biomas definidos en la Pan Amazonía y los países que lo comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

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

Bioma	Área (km²)	%	País/es que lo componen			
Amazonía	6′ 991, 168	82.5	Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam, Venezuela.			
Andes	274, 569	3.2	Bolivia, Ecuador, Perú			
Cerrado	962, 968	11.4	Brasil			
Chaco-Chiquitano	146, 574	1.7	Bolivia			
Pantanal	61, 260	0.7	Brasil			
Tucumano boliviano	33, 669	0.4	Bolivia			

2.3 Datos de Percepción Remota

Los datos para mapeo utilizados por la iniciativa MapBiomas Amazonía para su colección 2 fueron obtenidos de las imágenes satelitales del periodo 1985 a 2018 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 5 (L5, para los años 1985-2012 de la serie), Landsat 7 (L7, año 2000 en adelante de la serie) y Landsat 8 (L8, 2013 en adelante). Las imágenes de reflectancia de superficie (Surface Reflectance) pertenecen al catálogo de datos¹ 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 co-registro a nivel de píxel y 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).

2.4. Google Earth Engine y MapBiomas Amazonía

Google Earth Engine (EE) es una plataforma en la nube para el análisis científico de conjuntos de datos geoespaciales a escala global. Los principales componentes de EE 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 EE, y 4) y un ambiente de desarrollo integrado (IDE) en línea que permite el desenvolvimiento de aplicaciones mediante scripts² denominado el Code Editor³.

Los componentes mencionados hacen de EE 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, EE 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.

La cadena de procesamiento de MapBiomas está basada enteramente en tecnología de Google y, como tal, la iniciativa MapBiomas Amazonía se ha apoyado en EE 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).

11

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

² https://developers.google.com/earth-engine/

³ code.earthengine.google.com

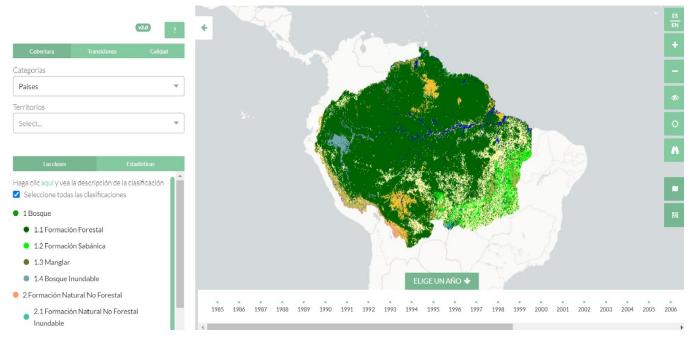


Figura 4. Interfaz del dashboard de MapBiomas Amazonía. Permite definir áreas de trabajo a escala distrital, provincial, estatal o de bioma, entre otros, donde es posible administrar la información derivada de los mapas para los años de interés.

2.5. Otras iniciativas de mapeo

En los últimos años se ha desarrollado diversas herramientas para el análisis de la deforestación en la Amazonía, algunas de ellas inclusive a nivel mundial, con enfoques cada vez más robustos. Algunos ejemplos son el Instituto Carnegie, la Universidad de Maryland, IMAZON, entre otros. Todos tienen en común su interés en aportar en uno de los temas más urgentes actualmente: la conservación de los bosques. Sus aportes no solo se han enfocado en la detección de la deforestación, el monitoreo del bosque en pie y de cuerpos de agua, sino que además vienen avanzando en fortalecer sus herramientas para identificar también la degradación forestal, la conservación y la pérdida de biomasa/carbono forestal, 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 2017.
- **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 mapa globales anuales cobertura terrestre abarcan el período desde 1992 a 2018.

2.5.2. Fuentes para la región Panamazónica

- 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 ha 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 de la Pan 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 Pan-Amazonía, para el período 2000 a 2017. 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 2 MapBiomas 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).

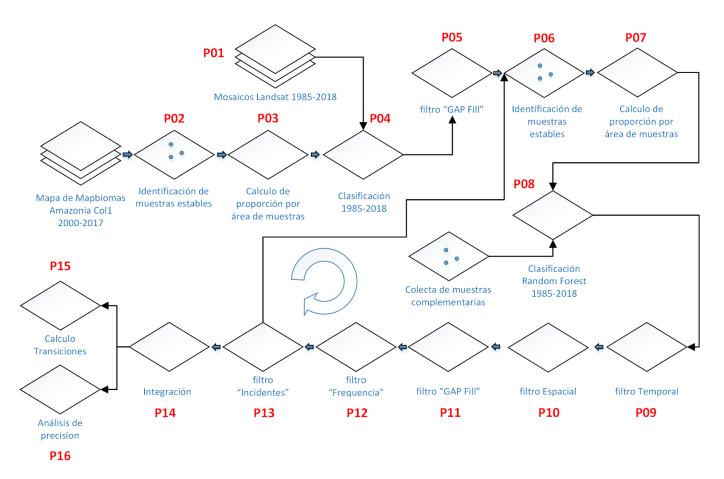


Figura 5. Síntesis metodológica de la Colección 2 de MapBiomas Amazonía.

3.1 Generación de mosaicos anuales

3.1.1. División del espacio de análisis en cartas

La metodología de MapBiomas 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 648 cartas cubren el territorio de la Pan 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 MapBiomas (Figura 6).

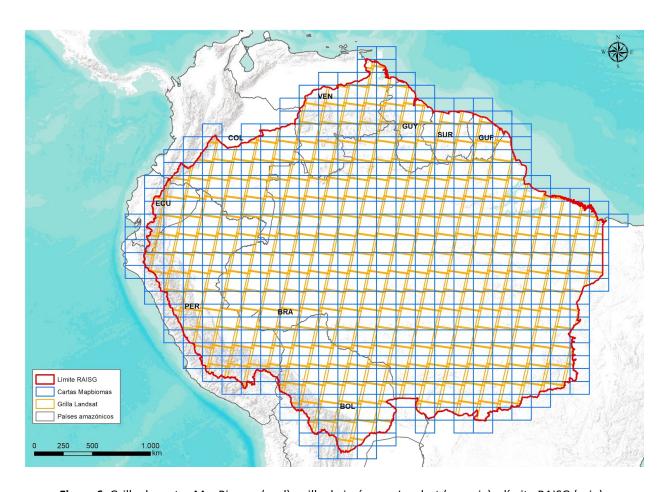


Figura 6. Grilla de cartas MapBiomas (azul), grilla de imágenes Landsat (naranja) y límite RAISG (rojo).

Fue imprescindible subdividir las cartas por regiones⁴ 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) y el número final de subdivisiones (cartas/región) procesadas.

_

⁴ Estas regiones fueron denominadas "regiones operativas" en la Colección 1. Para la actual colección, actualizamos sus límites a partir de la experiencia de la Colección 1. Si bien estas regiones se usaron durante el proceso de construcción de mosaicos, otras unidades o "regiones de mapeo" fueron identificadas para el proceso de clasificación como se explica en la sección correspondiente a clasificación.

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

País	Cartas	Regiones	Cartas/Región
Bolivia	61	Amazonía Alta Amazonía Baja Andes Chaco Chiquitano Tucumano-Boliviano	98
Colombia	47	Amazonía Baja Amazonía Alta	53
Ecuador	16	Amazonía Baja Amazonía Alta Andes	27
Guyana	22	Amazonía Baja Cerrado-Sabana	26
Guyana Francesa	12	Amazonía Baja	12
Perú	83	Amazonía Alta Amazonía Baja Andes	122
Surinam	17	Amazonía Baja	17
Venezuela	44	Amazonía Baja	68
Total	302		422

^{*}Un total de 648 cartas cubren el territorio de la Pan Amazonía. La porción correspondiente a Brasil es cubierta por 347 cartas.

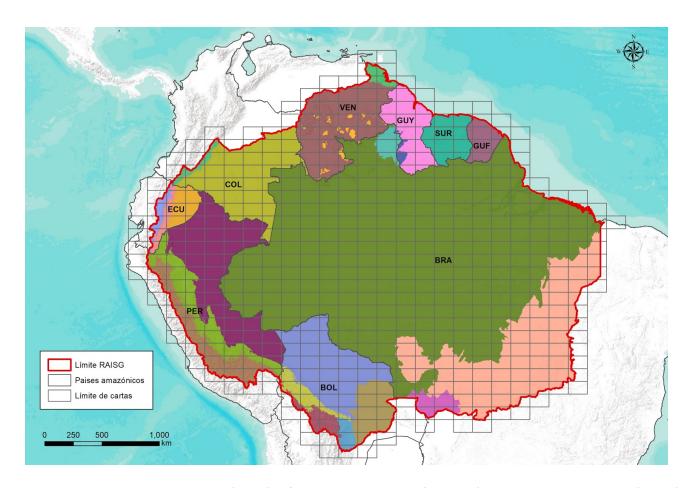


Figura 7. Mapa de regiones de mosaicos (cartas) definidas en la Pan Amazonía y los países que lo comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

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. Para obtener el valor de cada píxel, se empleó el cálculo de "mediana" y se consideró el periodo óptimo pre-definido⁵, junto con los siguientes parámetros:

- ID: Identificador único de la unidad carta-región
- Año: Año de la serie (1985 a 2018) 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 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 imágen Landsat que será usado para construir el mosaico de imágenes. Este dato proviene de la metadata de las imágenes Landsat.

-

⁵ 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. Este periodo fue aplicado para calcular las bandas que emplearon el reductor de "mediana", mientras que para las demás bandas que emplearon otros reductores se consideró la totalidad de imágenes disponibles en el año calendario.

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.

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.

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 clasificación⁶. Las bandas Landsat, junto con las variables de clasificación se encuentran consolidados en archivos ráster compuestos por 81 bandas en total⁷ que incluyen: las bandas landsat espectrales, índices espectrales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices.

A las imágenes disponibles en cada año, se aplicó el cálculo de **reductores estadísticos** para generar un valor único para cada píxel de la carta. Estos reductores son:

- Mediana: Mediana de los valores de píxel del periodo de mapeo óptimo definido para cada región.
- Mediana época seca: Mediana del percentil (25) con los menores valores de NDVI del pixel.
- Mediana época lluviosa: Mediana del percentil (75) con los mayores valores de NDVI del pixel.
- Amplitud: amplitud de la variación del índice considerando todas las imágenes del año.
- Desviación estándar: Desviación estándar de todos los valores de píxeles de todas las imágenes del año.
- Mínimo: menor valor anual de los pixeles de cada banda.

⁶ Los valores de las bandas Landsat sirvieron de fuente para el cálculo de variables (feature space), más no fueron utilizadas directamente en el proceso de clasificación.

⁷ Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomas Amazonía.

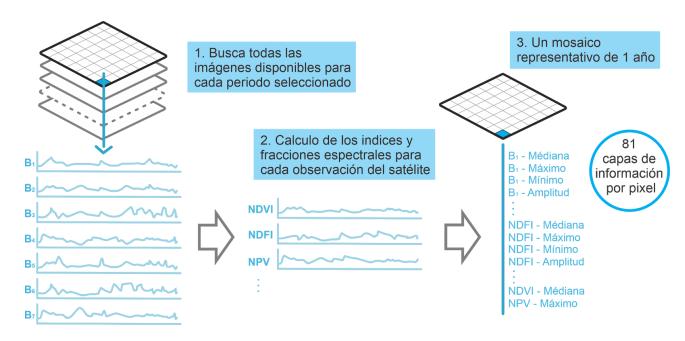


Figura 7. Proceso de generación de mosaicos anuales de imágenes Landsat.

La tabla 4 muestra el listado completo⁸ de bandas de los mosaicos finales o *feature space*, la fórmula para obtenerlo y una descripción del mismo. Cada banda representa una variable sometida al proceso de clasificación.

Tabla 4. Descripción de bandas y variables empleadas para la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

				Reductor ⁹					
Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Median	Median _dry	Median _wet	amp	stdDev	Mín
Banda	blue	B1 (L5 y L7); B2 (L8)	Espectro visible azul	Х					
	green	B2 (L5 y L7); B3 (L8)	Espectro visible verde	Х	Х				х
	red	B3 (L5 y L7); B4 (L8)	Espectro visible rojo	х	Х	х			х
	nir	B4 (L5 y L7); B5 (L8	Infrarrojo cercano	Х	Х	Х		х	х
	swir1	B5 (L5 y L7); B6 (L8)	Infrarrojo de onda corta 1	Х	Х	Х			х
	swir2	B7 (L5); B8 (L7); B7(L8)	Infrarrojo de onda corta 2	х	х	х			Х
Índices	ndvi	(nir - red)/(nir + red)	Índice de vegetación de diferencia normalizada	Х	Х	Х	Х	Х	

⁸ Para esta colección, MapBiomas Amazonía adoptó la selección de variables identificadas por el equipo de MapBiomas Brasil como el conjunto más apropiado para la clasificación de las coberturas en la región. Para ello, el equipo de MapBiomas Brasil aplicó un mecanismo de selección de variables que se detalla en sus respectivos ATBDs.

⁹ Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

	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	Х	Х	х	X	
	ndwi_gao	(nir - swir)/(nir + swir)	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	Х	Х	Х	х		
	ndwi_mcfeeter s	(green - nir)/(green+nir)	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeeters)	Х			х		
	gcvi	(nir / green) - 1	Relaciones entre bandas infrarrojo cercano y verde	Х	Х	Х			
	hallcover	(-red * 0.017) - (nir * 0.007) - (swir2 * 0.079) + 5.22	Índice espectral de cubierta terrestre	Х					
	pri	(blue - green)/(blue + green)	Índice de reflectancia fotoquímica (Photochemical Reflectance Index)	Х	х				
	savi	(1 + L) * (nir - red)/(nir + red + 0,5)	Índice de vegetación ajustada al suelo	Х	Х	Х		Х	
	textG	('median_green') .entropy(ee.Kernel .square({radius: 5}))	Entropía en la banda Azul	Х					
	nuaci	UNTL*(1-√(NDWIi -aNDWI)2+(NDVIi -aNDVI)2+(NDBIi- aNDBI)2)	Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas	Х					
	ndsi	(green-swir1)/(green +swir1)	Índice Diferencial Normalizado de Nieve	Х					х
Fracción MME ¹⁰	gv		Abundancia fraccional de vegetación verde dentro del píxel	Х			х	Х	
	npv		Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética dentro del píxel	х				Х	
	soil		Abundancia fraccional de suelo dentro del pixel	Х			х	Х	

¹⁰ MME = Modelo de Mezcla Espectral

	shade	100 - (gv + npv + soil +cloud)	Abundancia fraccional de sombra dentro del pixel	Х					
	snow		Abundancia fraccional de nieve dentro del pixel	Х					х
Índice MEM	gvs	gv / (gv + npv + soil + cloud)	Vegetación verde normalizada por sombra	Х	Х	Х		Х	
	ndfi	(gvs - (npv + soil)) /(gvs + (npv + soil))	Índice de fracción de diferencia normalizada	Х	Х	Х	х	Х	
	sefi	(gv+npv -soil) /(gv+npv + soil)	Índice de fracción del ecosistema de sabana	Х	Х			Х	
	wefi	((gv+npv)-(soil+shad e))/(gv+npv)+(soil+sh ade)	Índice de fracciones del ecosistema de humedales			Х	х	х	
	fns	((gv+shade) - soil) / ((gv+shade) + soil)	Índice basada en fracciones gv, shade y soil		Х			Х	
	ndfib	GV-(NPV+Soil+Snow) / GV+(NPV+Soil+Snow)	Adaptación del NDFI para los Andes	Х			Х		

3.2 Clasificación

3.2.1. Subregiones de clasificación

Debido a las características diferenciadas de cobertura vegetal de la Pan Amazonía, y con el objetivo de mejorar los resultados de las clasificaciones, el área de estudio fue subdividido en 93 subregiones de mapeo o clasificación (Figura 7, 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 éste documento.

Tabla 5. Subregiones de clasificación por país y bioma

País	Biomas	Subregiones de clasificación	Número total de subregiones
Bolivia	Amazonía Andes Chaco-Chiquitano Tucumano-Boliviano	Amazonía Alta (01) Amazonía Baja (04) Andes (01) Chaco (01) Chiquitano (01) Tucumano boliviano (01)	9
Colombia	Amazonía	Amazonía Alta (03) Amazonía Baja (12)	15
Ecuador	Amazonía Andes	Amazonía Alta (04) Amazonía Baja (06) Andes (02)	12
Guyana	Amazonía	Amazonía Baja (05) Cerrado-Sabana (02)	7
Guyana Francesa	Amazonía	Amazonía Baja (02)	2
Perú	Amazonía Andes	Amazonía Alta (09) Amazonía Baja (07) Andes (11)	27
Surinam	Amazonía	Amazonía Baja (02)	2
Venezuela	Amazonía	Amazonía Baja (06) Delta (04) Sabana y Herbazales (04) Tepuyes (02)	16
Total	4		90

^{*} El territorio amazónico correspondiente a Brasil comprende dos biomas adicionales a Amazonía: el Cerrado y Pantanal, totalizando 6 biomas y 93 regiones de clasificación.

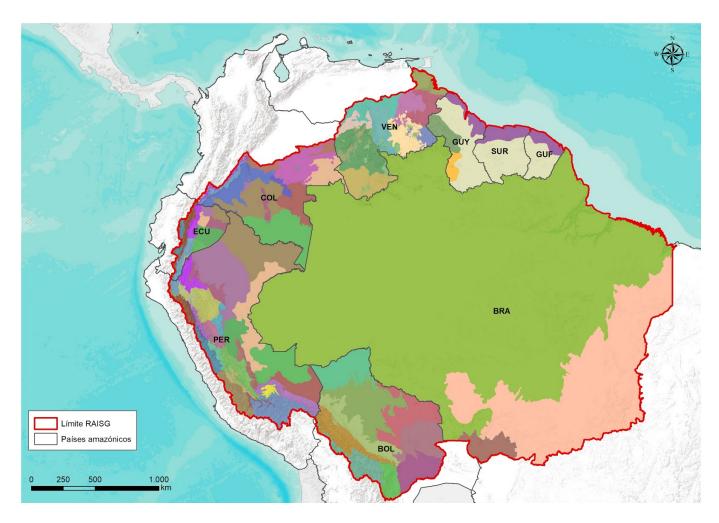


Figura 8. Mapa de Subregiones de clasificación definidas en la Pan Amazonía y los países que lo comprenden: BOL (Bolivia), BRA (Brasil), COL (Colombia), ECU (Ecuador), (GUF) Guayana Francesa, GUY (Guyana), PER (Perú), SUR (Surinam), VEN (Venezuela), para la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

3.2.2. Leyenda

La leyenda general del proyecto MapBiomas se muestra en la Tabla 6. Una descripción de cada clase junto con su equivalencia a otros sistemas de clasificación referenciales (e.g. FAO) se adjunta en los anexos por país. 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 2 MapBiomas Amazonía.

ID	CLASE	COBERTURA / USO
1	1. Formación Forestal	Cobertura
2	1.1. Bosque Natural	Cobertura
3	1.1.1. Bosque / Formación Forestal	Cobertura
4	1.1.2. Bosque Abierto / Formación Sabánica	Cobertura
5	1.1.3. Manglar	Cobertura
6	1.1.4. Bosque Inundable	Cobertura
9	1.2. Bosque Plantado	Cobertura
10	2. Formación Natural No Forestal	Cobertura

11	2.1. Formación Natural No Forestal Inundable	Cobertura
12	2.2. Formación Campestre o Sabana	Cobertura
13	2.4. Otra Formación Natural No Forestal	Cobertura
14	3. Uso agropecuario	Uso
15	3.1. Pasto	Uso
16	3.1.1. Pasto en Campos Naturales	Uso
17	3.1.2. Otros Pastos	Uso
18	3.2. Agricultura	Uso
19	3.2.1. Cultivo Anual Perenne	Uso
20	3.2.2. Cultivo Semi-Perenne	Uso
28	3.2.3. Mosaico de Cultivos	Uso
21	3.3 Mosaico de Agricultura y/o Pasto	Uso
22	4. Área sin Vegetación	Cobertura / Uso
23	4.1. Playa o Duna	Cobertura
24	4.2. Infraestructura Urbana	Uso
25	4.3. Otra Área sin Vegetación	Cobertura/Uso
29	4.5. Afloramiento Rocoso	Cobertura
30	4.4. Minería	Uso
26	5. Cuerpo de agua	Cobertura / Uso
33	5.1. Río, Lago u Océano	Cobertura / Uso
31	5.2. Acuicultura	Uso
34	5.3. Glaciar	Cobertura
34 27	5.3. Glaciar6. No Observado	Cobertura

3.2.3. Colecta de muestras

Uno de los factores que más influye en la precisión del producto clasificado es la calidad de las muestras de entrenamiento. Se identificaron los píxeles que mantuvieron de modo estable la misma clase a lo largo de todos los años de la serie temporal para este propósito. Es decir, se buscó que únicamente píxeles que no cambiaron entre 1985 y 2018 sean considerados para entrenar el clasificador Random Forest.

Como parte de este proceso, se empleó como insumo los mapas anuales de cobertura y uso del suelo pertenecientes a la Colección 1 de MapBiomas Amazonía. Se realizaron correcciones donde se consideró necesario y se incluyeron muestras adicionales manualmente 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 es método de clasificación que utiliza algoritmos de machine learning y que reporta tener 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 basada 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 2 de MapBiomas, el número de árboles varió según las necesidades y características de cada subregión de clasificación. Información más detallada al respecto puede encontrarse en los ATBDs nacionales anexos a este documento.

3.2.5. Temas transversales

En casos particulares, se detectó limitaciones en la diferenciación de clases específicas que motivaron la decisión de mapearlas por separado. Este es el caso de la clase Bosque inundable (ID = 6) y Formación Natural No Forestal Inundable (ID = 11) dentro del ámbito de Perú; y de la clase Manglares (ID = 5), dentro de Guyana, Guyana Francesa, Surinam y Venezuela. Estas clases fueron mapeadas independientemente, por lo que se les denomina Temas transversales, empleando algoritmos que consideran únicamente la clase de interés. Posteriormente, esta información es incluida en el mapa final empleando reglas de integración en la fase que denominamos "integración".

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 y llenar vacíos de información. El proceso de post clasificación inicia con la aplicación del filtro temporal, seguido por el filtro espacial, y un relleno de vacíos de información. Alternativamente, los países aplicaron filtros de frecuencia e incidencia. Todos los filtros fueron implementados en la plataforma EE de Google, empleando scripts escritos en Javascript y Python. A continuación presentamos cada una de estas herramientas a mayor detalle. Una descripción por país puede ser encontrada en los apéndices nacionales.

3.3.1 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 pixeles 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 valores las clasificaciones de los años 1986 al 2017.
- Reglas de primer año (RP). Aplicadas únicamente al primer año de la serie temporal. Esta regla modifica valores de la clasificación del año 1985.
- Reglas de último año (RU). Aplicada al último año de la clasificación. Esta regla modifica valores de la clasificación del año 2018.

De este modo, los filtros temporales reducen vacíos de información e inconsistencias temporales o cambios que no son posibles o no están permitidos. 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.

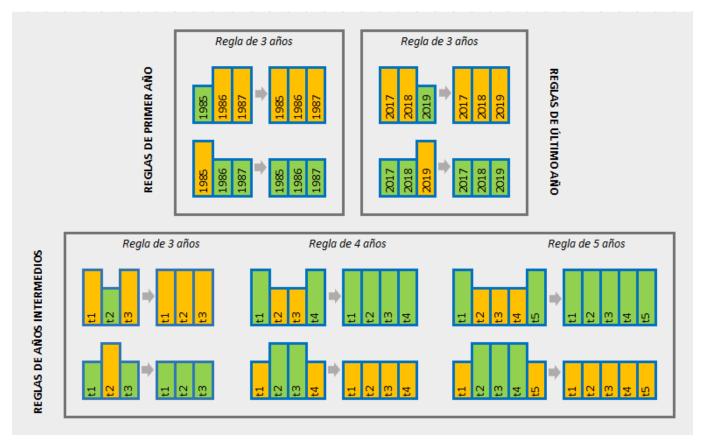


Figura 9. Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

3.3.2 Filtro Espacial

El filtro espacial se basa en la función "connectedPixelCount", nativa del EE. 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 MapBiomas 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.

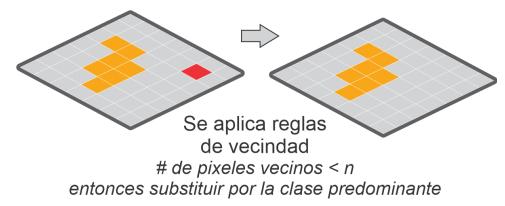


Figura 10. Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

3.3.3 Gap fill

El área de estudio de MapBiomas 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").

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 mismo. 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.

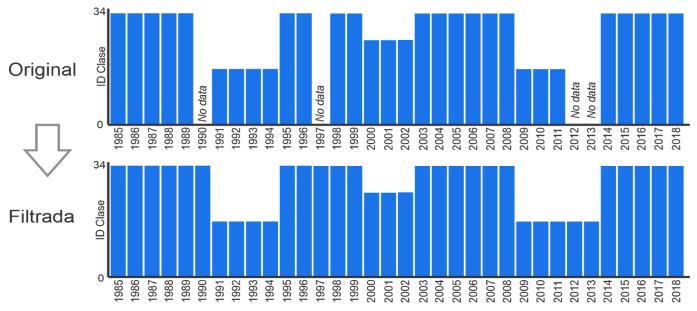


Figura 11. Funcionalidad del filtro de Gap Fill en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

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 dado son reemplazadas por el valor de la clase que cumple el valor mínimo de frecuencia. Este mecanismo contribuye a reducir la oscilación temporal asociada a una clase natural, disminuyendo el número de falsos positivos y preservando trayectorias consolidadas. 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.

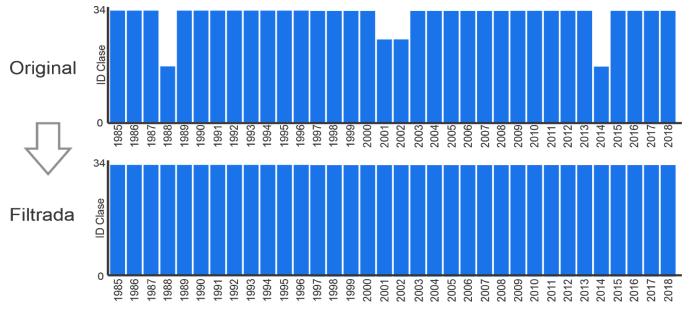


Figura 12. Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

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 34 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. Se descartó su aplicación en varias subregiones y/o países. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.

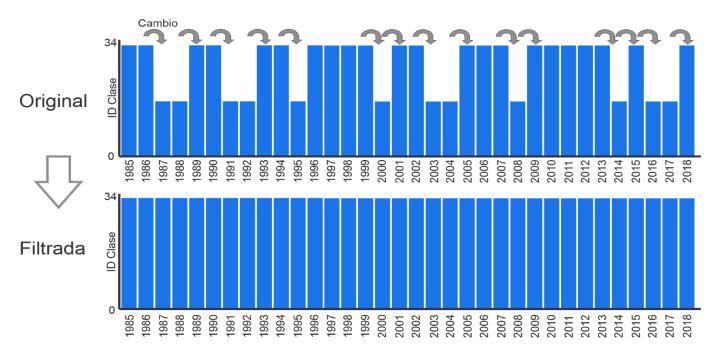


Figura 13. Funcionalidad del filtro de incidencia en la Colección 2 MapBiomas Amazonía.

3.3.6. Reclasificación

En casos particulares se optó por reclasificar valores mal clasificados, siempre y cuando el proceso sea replicable. Para ello, se empleó información de mapas oficiales nacionales o regionales, de los que se derivaron "máscaras". Mediante reglas de reclasificación, fue posible indicar el cambio de valor de píxeles mal clasificados a una clase correcta. Por ejemplo, áreas de deslizamiento de suelo por eventos naturales ("Área No Vegetada" ID 22) pudo ser clasificada erróneamente como "Mosaico de agricultura o pasto" (ID 21) por sus características espectrales similares. Para estas áreas se consigue una máscara construida a partir de un mapa de referencia o un cruce de varios mapas de referencia que favorezcan su delimitación. Así, se asigna una regla de programación que reclasifique los ID 21 por ID 22 dentro de la máscara construida. Las reclasificaciones se aplicaron de acuerdo a las necesidades de cada país. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.

3.4. Integración

Los resultados obtenidos de clasificación a nivel de subregiones operativas y de temas transversales requieren ser integrados como un único mapa por cada año de análisis. Las reglas de prevalencia u orden de integración son

aplicadas para obtener buenos resultados en casos de superposición de datos y se presentan en la Tabla 7. Como parte de este proceso se homologaron algunos de los valores de ciertas clases, con el objetivo de mejorar la representación cartográfica al momento de integrar los productos nacionales en un solo producto regional Panamazónico.

Tabla 7. Reglas de prevalencia de la fase de integración.

Clase	ID	Fuente	Orden
Manglar	5	Tema transversal	1
Mosaico de Agricultura y/o Pasto	21	Biomas	2
Pasto	15	Biomas	3
Área No Vegetada	22	Biomas	4
Bosque Inundable	6	Biomas	5
Bosque Inundable	6	Tema transversal	6
Formación Forestal	3	Biomas	7
Formación Campestre	12	Biomas	8
Otra Formación Natural No Forestal	13	Biomas	9
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Biomas	10
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Tema transversal	11
Río, Lago u Océano	33	Biomas	12
Glaciar	34	Biomas	13

3.5 Mapas de transiciones

Las transiciones representan mapas de cambios de clases de uso del suelo disponibles en la plataforma de MapBiomas Amazonía. Las transiciones son calculadas entre píxeles para diferentes periodos:

- (A) años consecutivos (por ejemplo, de 2001 a 2002, o de 2013 a 2014, etc)
- (B) períodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- (C) serie temporal completa (1985 2018)

3.6 Estadísticas

Las estadísticas zonales de las clases mapeadas se calcularon para diferentes unidades espaciales, como área de estudio completa, por biomas, país, departamento, municipio, cuenca hidrográfica, territorios indígenas y unidades de conservación.

3.7 Descarga de datos

Un kit de herramientas en Google Earth Engine está disponible para insertar polígonos definidos por el usuario y descargar los mapas LCLU.

4. Validación

(En preparación)

5. Consideraciones prácticas y desafíos

El desarrollo de este proyecto, de alcance espacial y temporal inédito para la región, consideró una metodología estandarizada. El uso de las plataformas de trabajo de Google Earth Engine y la tecnología de código abierto resultó prometedor respecto a la accesibilidad y procesamiento de datos a gran escala. La réplica de este tipo de proyecto es viable para otras áreas del planeta.

Gracias a la experiencia de MapBiomas Brasil fue posible lograr la eficiencia en tiempos y procesos, respaldado en la participación de especialistas de cada país involucrado para el mapeo de sus propios límites políticos. Asimismo, el proceso se vio fortalecido por el intercambio de ideas y el trabajo en red para lograr una metodología ajustada a las necesidades particulares, aun cuando el límite del área de interés tuvo una ampliación con respecto a las iniciativas previas.

El siguiente paso de este proyecto es expandir el mapeo y monitoreo de la superficie restante de los países integrantes de la RAISG, considerando un nivel de leyenda más específico en las categorías que no pudieron ser detalladas en esta Colección.

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 por país

Apéndice 1 - Bolivia

Apéndice 2 - Colombia

Apéndice 3 - Ecuador

Apéndice 4 - Guyana, Guyana Francesa y Surinam

Apéndice 5 - Perú

Apéndice 6 - Venezuela

8. Anexos

Anexo 1: Descripción de clases por país y bioma, según la leyenda de la Colección 2 MapBiomas Amazonía

ID	Clase	País	Bioma	Descripción
3	Formación forestal	Bolivia	Amazonía	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. Posee un dosel arbóreo que se distribuye entre los 15 y 25 m de altura, con árboles emergentes que llegan a alcanzar poco más de 30 m. Esta región que incluye también los bosques yungueños, están localizados en zonas con alta humedad relativa, cuyo origen proviene de los vientos alisios, los cuales descargan diariamente su humedad en forma de lluvia horizontal gracias a la elevada cantidad de musgos y epífitos que están colonizando los tallos y ramas de los árboles.
				En la región Amazonía Baja, está conformado principalmente por fisonomías boscosas y siempre verde, sobre elevaciones de hasta 1500 m. Posee un dosel arbóreo que varía entre 30 y 35 m, con árboles emergentes que pueden sobrepasar los 40 m. En esta región los bosques amazónicos se dividen en: i. bosques amazónicos de tierra firme (crecen en áreas con suelos bien drenados, abarcan la mayor extensión de superficie); y ii. bosques amazónicos de inundación (estacionalmente inundados producto del rebalse de los grandes ríos), que a su vez son subdivididos en bosques de várzea (inundados por aguas blancas, ricas en sedimentos y minerales) y bosques de igapó (inundados por aguas negras, ricas en materia orgánica).
			Chiquitano	El bosque chiquitano se distribuye desde el extremo Norte, donde es semideciduo, hasta la porción central, donde es deciduo. El dosel arbóreo se distribuye entre 15 a 20 m de altura, con árboles emergentes que alcanzan hasta poco más de 25 m. Geológicamente, el bosque chiquitano está desarrollado principalmente sobre sedimentos de origen precámbrico, siendo su fisiografía una llanura ondulada.
			Chaco	El bosque chaqueño se distribuye en la región Sur, siendo estos generalmente deciduos, micro foliados y espinosos. 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. Geológicamente el bosque chaqueño se desarrolla sobre sedimentos de origen reciente (cuaternario), y cuya fisiografía es denominada como la llanura Chaco-Beniana.
			Tucumano- Boliviano	El bosque tucumano-boliviano (yungas tucumano –boliviano en Argentina) cambia en estructura, composición y periodicidad según su distribución altitudinal en los andes tropicales, la cual varía entre los 800 y 3500 m de elevación. Generalmente, por debajo de 2000 m (±) de altitud (piso inferior), ocupa la porción oriental del subandino, siendo de tipo semideciduo, 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 2000 m (±) de altitud (piso superior), los bosques son húmedos y siempre verdes, esto gracias a la humedad proveniente de los vientos alisios. Los árboles conforman un dosel distribuido entre los 20 y 25 m de altura, con emergentes que alcanzan hasta 30 m.
			Andes	Entre las formaciones forestales dentro de la región Andina se pueden encontrarse los bosques secos interandinos y los bosques de Polylepis. Los bosques secos interandinos se distribuyen entre los 1000 y 3000 m de altitud, donde aparecen ocupando situaciones fisiográficas de valles y las proporciones más bajas de las laderas. Fisionómicamente pueden subdividirse en dos, siendo estos: i. bosques bajos, deciduos y espinosos, con dosel arbóreo arbustivo de 3 a 5 m de altura, con árboles y cactus columnares emergentes de hasta más de 10 m; y ii. bosques semideciduos, con dosel arbóreo de 10 a 15 m, y emergentes de hasta 20 m. Por otro lado, los bosques de Polylepis (kewiñales), corresponden a comunidades vegetales dominadas principalmente por diversas especies de éste género, los cuales se distribuyen por encima de los 2500 m de altitud formando manchas dispersas en medio de una matriz paisajística dominada por fisonomías campestres.
		Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, cobertura de tipo boscosa y arbustiva asociada a bosques de alta montaña (Bosque andino, altoandino y páramo), constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos y arbustales naturales, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a 15 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Se incluyen franjas de bosque ripario en cursos de agua de zonas andinas como también vegetación secundaria o en transición originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original.

			En la región Amazonía Baja, cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) generalmente continuo con abundancia de plantas leñosas perennes y asociaciones ecológicas con predominio de palmas naturales. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen bosques densos y algunos bosques abiertos, así como también bosques fragmentados con vegetación secundaria cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como mosaico de agricultura y pasto, áreas sin vegetación o algún tipo de vegetación en transición. Se encuentran otras formas biológicas naturales, tales como diferentes especies de palma y la guadua. Las especies que dominan esta cobertura comprende orígenes nativos o foráneos presentes en áreas naturales o seminaturales. Estos bosques en general no han sido intervenidos o su intervención ha sido selectiva de tal forma que no se muestra alteración en su estructura original y sus características funcionales. También se incluyen bosques inundables localizados en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua (lóticos) que corresponden principalmente a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos. Se exceptúan de esta clase las plantaciones asociadas a monocultivos de palma africana o palma de aceite que han sido establecidos de manera antrópica. Corresponde a la cobertura más extensa en el territorio colombiano.
	Ecuador	Amazonía	En la región Amazonía Baja, áreas con cobertura arbórea densa, primaria o secundaria y de regeneración por sucesión natural. Es considerado uno de los bosques más diversos del mundo en especies arbóreas. Incluye áreas con predominancia de bambú y palmas nativas. 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, colinas bajas y también terrenos deprimidos e inundables. La estatura del dosel disminuye hasta unos 25 m conforme incrementa la altitud. Puede incluir: Bosques riparios inundados e inundables , además de plantaciones forestales de origen antrópico.
			En la región Amazonía Alta, áreas con cobertura arbórea densa, primaria o secundaria y de regeneración por sucesión natural. 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 subandinas. Puede incluir: pequeñas áreas de Bosque semideciduo piemontano en la parte sur, además de plantaciones forestales de origen antrópico.
		Andes	Cobertura forestal densa de bosques multiestratificados, siempreverdes, de 15 a 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. Puede incluir plantaciones forestales.
	Guyana Guyana Francesa	Amazonía	Bosque aluvial, bosque bien drenado de terrazas de ríos, bosque de planicie sedimentaria, bosque edafo xerófilo 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	Amazonía	Incluye todo tipo de bosque denso, con follaje perenne o semi deciduo, de porte predominantemente arbóreo que puede alcanzar los 45 m de altura en la zona baja oriental (hasta los 500 msnm) y va disminuyendo en altura conforme la altitud alcanza los 3800 msnm. 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.
		Andes	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.
	Surinam	Amazonía	Bosque aluvial, bosque bien drenado de terrazas de ríos, bosque de planicie sedimentaria, bosque edafo xerófilo 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	Amazonía	En la región Amazonía Baja, 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.

6	Bosque inundable	Ecuador	Amazonía	En la región Amazonía Baja, 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. Son bosques de menor estatura y menos diversos que los de tierra firme, y generalmente dominados por especies de palmeras.
		Perú	Amazonía	Cobertura boscosa ubicada en la gran llanura aluvial y ocupan las llanuras y terrazas periódicamente o permanentemente inundadas. 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".
11	Formación natural no forestal inundable	Guyana Guyana Francesa	Amazonía	Pantano mixto con palmas y humedales de tierras bajas sujetos a inundaciones periódicas con vegetación herbácea o arbustiva.
		Perú	Amazonía	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.
			Andes	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, dentro de esta clase están considerados los Bofedales.
		Surinam	Amazonía	Pantano mixto con palmas y humedales de tierras bajas sujetos a inundaciones periódicas con vegetación herbácea o arbustiva.
		Venezuela	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Esta clase considera las formaciones no forestales presentes en zonas inundables permanentes o intermitentes. Dentro de esta clase se presentan: 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
12	Formación campestre o sabana	Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Cobertura natural compuesta en su mayoría por vegetación de tipo herbácea (gramíneas) sobre tierra firme con presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos o de manera aislada, se localizan principalmente en áreas con limitaciones edáficas y clima similar a los suelos de la cuenca del Orinoco con un rango altitudinal entre los 300 a 800 m.s.n.m. Generalmente este tipo de cobertura se encuentra rodeada de bosques de galería en donde incluyen pastizales naturales y algunas áreas degradadas (minería) o afloramientos rocosos. Geomorfológicamente se presenta en superficie plana a ligeramente ondulada o disectada situada principalmente en altillanura, 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	Amazonía	Pajonales graminosos propios de las laderas abiertas y expuestas a vientos del páramo y la jalca, zonas transitorias hacia los Andes de fuertes gradientes de humedad y temperatura
			Andes	Pajonales compuestos por vigorosas gramíneas y césped de puna de poca altura o casi al raz del suelo. Esta cobertura se encuentra aproximadamente entre 3000 y 4800 msnm.
		Venezuela	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Arbustales; Sabanas arbustivas mixtas con chaparrales; Sabanas abiertas; Sabanas arboladas; Sabanas arbustivas con palmas y chaparrales; Sabanas arbolada y arbustiva, no inundable; Sabanas arbustivas; Sabanas abiertas secundarias
13	Otra formación natural no forestal	Bolivia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Son fisonomías campestres, dominadas por pastos y hierbas, y muchas veces con la presencia de arbustos dispersos. Generalmente aparecen por encima de los 2500 m de elevación en zonas con suelos poco profundos (cimas de serranías), o en zonas con topografía menos accidentada, por encima de 3000 m, donde pasan a ser denominados como páramos yungueños.
				En la región Amazonía Baja, Corresponde a una serie de fisonomías no forestales que se distribuyen en parches dispersos, principalmente en el extremo Este y Sureste de esta región. Su presencia se ve limitada debido a factores edáficos, ya que, crecen en zonas con suelos lateríticos y poco profundos, y en zonas donde la capa freática es superficial, por lo cual se inundan estacionalmente. Las fisonomías más comunes son las campestres, dominadas por pastos y hierbas; y sabanas, donde además de estas formas de vida también aparecen árboles y arbustos dispersos (campiranas y similares al cerrado sensu stricto). Estas formaciones no forestales son incluidas dentro del gran complejo de vegetación denominado como sabanas amazónicas.
			Chiquitano	Corresponde a todas las fisonomías sabánicas y campestres incluidas dentro del complejo denominado como cerrado sensu lato (más usado en Brasil). Estas fisonomías están distribuidas en manchas dispersas e inmersas dentro del bosque chiquitano, estableciéndose sobre suelos mal drenados, rocosos (afloramientos rocosos, inselberg o cimas de serranías) y/o lateríticos en la porción del escudo precámbrico.

		Corresponde a todas las fisonomías sabánicas y campestres incluidas dentro del complejo denominado como
	Chaco	cerrado sensu lato (más usado en Brasil), crecen sobre suelos arenosos y bien drenados, con baja densidad de pastos, árboles y arbustos.
	Tucumano- Boliviano	Están conformados por fisonomías predominantemente campestres (pajonales), las cuales se limitan a las cimas de las serranías y/o zonas con suelos poco profundos, o con afloramientos rocosos, generalmente por encima de los 2000 m de elevación. La presencia de leñosas es bastante escasa.
	Andes	En esta región la fisonomía dominante corresponde a las campestres, las cuales crecen generalmente por encima de 4000 m de elevación. En Bolivia son denominados como Puna, y están dominados por una cobertura dominada por pastos, con algunos arbusto dispersos. Los suelos son generalmente secos, aunque existen zonas que se encharcan y se mantienen húmedos durante todo el año (bofedales).
Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Cobertura vegetal producto de sucesión ecológica natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrollada sobre pisos altitudinales de montaña como formaciones andinas, altoandinas, páramo y bosques de niebla, con poca o ninguna intervención antrópica. 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. Las comunidades vegetales están dominadas por elementos típicamente herbáceos que biológicamente corresponden a plantas no lignificadas o apenas lignificadas, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Las comunidades arbustivas forman un dosel irregular con plantas perennes con estructura de tallo leñoso o lignificado con alturas entre 0.5 y 5 metros, se encuentran fuertemente ramificadas en la base y sin copa definida (FAO, 2001). Se incluyen 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.
		En la región Amazonía Baja, Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural los cuales forman una cobertura abierta. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999). En general no presenta elementos de porte arbóreo de manera aislada. Se desarrolla sobre afloramientos rocosos de bajo relieve o altitud y algunas áreas de suelos arenosos que no retienen humedad de manera significativa. Geomorfológicamente, este tipo de herbazales se desarrollan sobre geoformas constituidas por arenas eólicas, afloramientos rocosos y pedregosos del Escudo Guayanés. Asociado a los departamentos de Vaupés y Guainía.
Ecuador	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Cobertura no forestal que corresponde a vegetación natural que ocurre en áreas de poca extensión en lugares con precipitaciones muy altas que debido a los suelos y la topografía, se saturan durante largos períodos. También puede incluir: Bosque dominado por bambú de la Amazonía
		En la región Amazonía Alta, Cobertura no forestal que corresponde a vegetación natural que ocurre en áreas de poca extensión en mesetas y laderas de afloramientos de arenisca en cordilleras subandinas, aproximadamente a 2000-2400 m de altitud. La vegetación es una mezcla de plantas herbáceas esclerófilas como bromelias y orquídeas que crecen en el suelo, y matorrales esclerófilos con abundantes epífitas y hemiepífitas, ambas crecen sobre una espesa capa de materia orgánica. También puede incluir: Bosque siempreverde montano bajo sobre mesetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor.
	Andes	Áreas de cobertura vegetal compuesta por especies nativas de herbáceas y de leñosas no arbóreas. Incluye pastizales naturales y matorrales tropicales andinos que crecen sobre la línea de bosques (ca. 3000-3500 m de elevación) y se vuelven más abiertos y de cobertura más dispersa conforme asciende altitudinalmente. Esta cobertura está constituída principalmente por los llamados páramos cuyo componente principal son gramíneas de los géneros Festuca, Calamagrostis y Carex, con casi el 100% de cobertura. Entre ellos se encuentra una diversidad de helechos y especies herbáceas, algunas de ellas formando cojines. Los arbustos también son un componente importante, especialmente en los páramos que no se queman con frecuencia. Esta vegetación ocurre en un complejo mosaico con humedales y turberas higrófilas. La cobertura puede incluir también matorrales semideciduos de los valles secos.
Guyana Guyana Francesa	Amazonía	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	Amazonía	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 altas montañas, arriba de los 3500 msnm, en contacto con el pajonal andino.
	Andes	Cobertura vegetal con predominancia de herbáceas y arbustos, 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.

		Surinam	Amazonía	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.
		Venezuela	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Abarca las diferentes formación no forestales presentes en las regiones de tepuyes. Se consideran dentro de esta clase: 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; En esta clase también se clasificó la formación campestre (ID:12) correspondiente a la Gran Sabana (sureste de la Amazonía venezolana) para mantener la consistencia de clases entre Brasil, Guyana y Venezuela.
21	Mosaico de agricultura y/o pasto	Bolivia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Las principales actividades económicas desarrolladas en esta región son: la agricultura a pequeña escala, la extracción selectiva de especies forestales, así como la siembra de cultivos perennes como coca, café y cítricos.
				En la región Amazonía Baja, Se practica principalmente la extracción de productos forestales maderables y no maderables (castaña, cacao, así, copoazú, etc.). Sin embargo, en los últimos años, se incrementó las actividades ganaderas, lo cual ha provocado la sustitución de extensas áreas de coberturas vegetales naturales por pasturas introducidas. También se practica la agricultura mecanizada, principalmente el norte del departamento de Santa Cruz.
			Chiquitano	Extracción selectiva de especies con valor forestal, así como la ganadería mediante la implementación de pasturas introducidas. También, agricultura de pequeña escala (comunidades campesinas) y gran escala (empresas agrícolas y colonias menonitas).
			Chaco	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	Ganadería de ramoneo, extracción selectiva de especies con valor forestal, y actividades agrícolas a pequeña escala.
			Andes	Ganadería (vacunos, ovinos, caprinos y camélidos), agricultura de pequeña escala, por ejemplo quinua (Chenopodium quinoa) y agricultura mecanizada.
		Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Comprende una asociación de cultivos y pastos situados en terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. 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. Los cultivos permanentes cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen, cultivos de herbáceas y cultivos arbustivos.
			Amazanía	En la región Amazonía Baja, Comprende una asociación de cultivos y pastos situados en terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. 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. Los cultivos permanentes cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, producen varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen herbáceas, café y cacao; y cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales. Se incluyen suelos en preparación, post cosecha y algunas quemas. En cuanto a los pastos se incluyen áreas dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años que pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente.
		Ecuador	Amazonía Andes	Áreas de uso agropecuario, de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes y pastos plantados. Son especies cultivadas que se encuentran en mosaico y que no pueden ser individualizadas; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural. Incluye plantaciones de palma africana en la Amazonía.
		Guyana Guyana Francesa	Amazonía	Las plantaciones de arroz en la región costera y las áreas de uso agrícola donde no fue posible distinguir entre pasturas y agricultura principalmente en la orilla del río.
		Perú	Amazonía	Áreas donde la vegetación natural ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de cubiertas vegetales de origen antrópico. Comprende áreas que fueron deforestadas y hoy convertidas en cultivos agrícolas y pastos cultivados en actividad y en descanso. En el bioma Amazonía predomina el cambio de uso hacia la ganadería y cultivos de cereales y palma aceitera.
			Andes	Áreas de cubierta vegetal de origen antrópico. Comprende áreas que fueron deforestadas y hoy convertidas en cultivos agrícolas y pastos cultivados en actividad y en descanso. En el bioma Andes predomina la ganadería y el cultivo de cereales, tubérculos y hortalizas, ubicados en el fondo y laderas de valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino.

		Surinam	Amazonía	Las plantaciones de arroz en la región costera y las áreas de uso agrícola donde no fue posible distinguir entre pasturas y agricultura principalmente en la orilla del río.
		Venezuela	Amazonía	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
22	Área sin vegetación	Bolivia	Amazonía Chiquitano Chaco Tucumano- Boliviano Andes	Zonas con afloramientos rocosos, tales como lajas, inselberg y cimas de serranías; áreas cubiertas por sedimentos aluvio-eolicos (Dunas, márgenes de grandes ríos); así como infraestructura urbana, donde la presencia de cobertura vegetal es mínima.
		Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos. Incluye zonas arenosas naturales, áreas urbanas, redes viales, aeropuertos, zonas míneras, suelo expuesto, afloramientos rocosos, zonas quemadas.
				En la región Amazonía Baja, Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos. Incluye zonas arenosas naturales en terrenos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal de tipo ralo; en la Amazonía de Colombia son notorios los bancos de arena de los ríos, se incluyen además áreas urbanas, redes viales, aeropuertos, zonas mineras, suelo expuesto, afloramientos rocosos, zonas quemadas. Las zonas quemadas se refiere a las zonas afectadas por incendios recientes, donde los materiales carbonizados todavía están presentes de manera localizada tanto en áreas naturales como seminaturales, tales como bosques, cultivos, sabanas y arbustales.
		Ecuador	Amazonía	Áreas desprovistas de cobertura vegetal. Pueden ser de origen natural, como en el caso de barrancos de arena y playas de ríos, o de origen antropogénico, como en áreas pobladas rurales y urbanas, carreteras, infraestructura agroindustrial, petrolera y minera. Puede incluir zonas de uso agropecuario cuyo suelo está expuesto temporalmente.
			Andes	Áreas desprovistas de cobertura vegetal. Pueden ser de origen natural, como arenales, roca expuesta, campos periglaciares, o de origen antropogénico, como áreas pobladas rurales y urbanas, infraestructura, obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial. Puede incluir: zonas de uso agropecuario cuyo suelo está expuesto temporalmente.
		Guyana Guyana Francesa	Amazonía	Zonas urbanizadas con predominio de superficies no vegetadas, incluidas carreteras pavimentadas, carreteras y edificios. Áreas de suelo expuesto por actividad minera. Áreas con interferencia antrópica y sin vegetación.
		Perú	Amazonía Andes	Contempla áreas de poca o nula vegetación naturales o de origen antrópico, tales como: Infraestructura urbana; suelos expuestos por extracción forestal o minera y deslizamientos naturales; playas; áreas quemadas; y coberturas no fotosintéticas herbáceas de pastos naturales o cultivados.
		Surinam	Amazonía	Zonas urbanizadas con predominio de superficies no vegetadas, incluidas carreteras pavimentadas, carreteras y edificios. Áreas de suelo expuesto como resultado de la actividad minera. Áreas con interferencia antrópica y sin vegetación.
		Venezuela	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Abarca diferentes tipos de cobertura: Afloramientos rocosos o suelo expuesto, áreas urbanizadas con predominio de superficies no vegetadas, incluyendo carreteras, vías y construcciones y áreas relacionadas a la extracción mineral presentado clara exposición del suelo
33	Río, Lago u Océano	Bolivia	Amazonía Chiquitano Chaco Tucumano	Cuerpos de agua, ríos, lagos, represas, reservorios (atajados)
			Andes	Cuerpos de agua, ríos, lagos, represas, reservorios (atajados), nieve y hielo
		Colombia	Amazonía	En la región Amazonía Alta, Corresponden a los cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.
				En la región Amazonía Baja, Cuerpos de agua permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.
		Ecuador	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Cuerpos de agua, ríos, lagos, represas.
			Andes	Cuerpos de agua, ríos, lagos, represas.
		Perú	Amazonía Andes	Es cualquier extensión de agua que se encuentran en la superficie terrestre ya sean naturales como artificiales. Comprende ríos, lagos, represas, depósitos y otros cuerpos de agua.
		Venezuela	Amazonía	En la región Amazonía Baja, Cuerpos de agua, ríos, lagos y represas.
34	Glaciar	Ecuador	Andes	Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas.
		Perú	Andes	Cobertura de hielo y/o nieve que se genera en la Cordillera de los Andes a partir de los 4800 hasta los 6768 msnm. Es una gran masa de hielo producto de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve por miles de años. Es la principal fuente de recursos hídricos para las cuencas hidrográficas del país.