

MAPBIOMAS  
BOLIVIA

## **Manual general MapBiomás**

**Documento de base teórica sobre algoritmos (ATBD)**

**Colección 3**

**Julio 2025**

## **Equipo de especialistas**

Saúl Cuéllar  
Sara Espinoza  
Alejandra Tancara  
Marcelo Char  
Yanine Domínguez  
Kevin Centellas  
Carolyn Ordoñez  
Eva Mollinedo  
Yoshelin Varón  
Carla Llanos

### ***Especialistas en programación para teledetección***

Rodney Camargo & Marcelo Char

### ***Responsable del componente técnico***

Sara Espinoza

### **Coordinador del proyecto MapBiomás Bolivia**

Saúl Cuéllar

### **Gestión proyectos**

Marlene Quintanilla

### **Institución**

Fundación Amigos de la Naturaleza



Km. 7 1/2 Doble Vía a La Guardia  
Santa Cruz - Bolivia  
Teléfono: (591-3) 3556800  
[www.fan-bo.org](http://www.fan-bo.org)

Cómo citar:

Documento de Base Teórica sobre Algoritmos (ATBD) - MapBiomás Bolivia  
Colección 3

## **Resumen ejecutivo**

La Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) es una organización de la sociedad civil comprometida con la conservación de la naturaleza, que desarrolla con sustento técnico-científico, caminos innovadores de desarrollo integral y sostenible.

FAN, es el miembro boliviano de la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG), donde se genera información orientado a la sostenibilidad socioambiental de manera coordinada con los demás países (Brasil, Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela, Guyana, Guyana Francesa y Surinam), para alcanzar los mismos objetivos. Desde el 2009, en el marco del trabajo con la RAISG, se inició la construcción de mapas de deforestación de la Amazonía boliviana aplicando herramientas de procesamiento de datos satelitales cada vez más avanzadas. 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 MapBiomias Network, crean la iniciativa MapBiomias.

MapBiomias 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).

Como parte del trabajo con la RAISG y MapBiomias, FAN presenta su Colección 3 de Mapas Anuales de Cobertura y Uso del Suelo de todo el territorio boliviano para el periodo de 1985 - 2024. Gracias a este esfuerzo colaborativo es posible contar con estos mapas en una plataforma interactiva para el país de la iniciativa MapBiomias Bolivia.

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 3 de MapBiomias Bolivia, que contempla el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo, entre los años 1985 y 2024.

## Índice

1	Introducción .....	1
1.1	Alcance y contenido del documento .....	1
1.2	Visión general.....	1
1.3	Área de estudio.....	3
1.3.1	Bioma Amazonía.....	5
1.3.2	Bioma Andes .....	7
1.3.3	Bioma Valles .....	7
1.3.4	Bioma Chaco .....	7
1.3.5	Bioma Chiquitano.....	8
1.3.6	Bioma Tucumano-Boliviano .....	8
1.3.7	Bioma Pantanal.....	9
1.4	Aplicaciones .....	11
2	Información básica y antecedentes .....	11
2.1	Contexto institucional.....	11
2.1.1	Fundación Amigos de la Naturaleza - FAN .....	11
2.1.2	MapBiomias.....	12
2.2	Datos de percepción remota.....	12
2.3	Google Earth Engine y MapBiomias Amazonía .....	13
2.4	Otras iniciativas de mapeo.....	14
2.4.1	Fuentes mundiales de región.....	14
2.4.2	Fuentes para la región Amazónica .....	15
2.4.3	Fuentes para el territorio nacional.....	16
3	Metodología .....	19
3.1	Generación de mosaicos anual .....	20
3.1.1	División del espacio de análisis en cartas.....	20
3.1.2	Parametrización de mosaicos anuales.....	21
3.2	Variables de clasificación o feature space .....	26
3.3	Clasificación.....	30
3.3.1	Legenda.....	30
3.3.2	Regiones de clasificación.....	43
3.3.3	Colecta de muestra.....	44
3.3.4	Random Forest .....	45
3.3.5	Temas transversales.....	45
3.4	Post clasificación .....	46
3.4.1	Llenado de vacíos de información (Gap Fill) .....	46
3.4.2	Filtro Temporal.....	47
3.4.3	Filtro Espacial .....	48
3.4.4	Filtro de frecuencia .....	48
3.4.5	Filtro de incidencia.....	49
3.4.6	Reclasificación .....	49
3.5	Integración.....	49
3.6	Mapas de transiciones .....	50
3.7	Estadísticas.....	51
4	Consideraciones prácticas y desafíos .....	51
5	Referencias .....	51

## **Lista de Tablas**

Tabla 1. Resumen de las características de la cobertura y uso de suelo de los biomas bolivianos.....	10
Tabla 2. Número de mosaicos de imágenes satelitales procesadas para MapBiomas Bolivia.....	21
Tabla 3. Resumen de parámetros utilizados en la construcción de mosaicos.....	23
Tabla 4. Parámetros para la evaluación de calidad de los mosaicos de imágenes Landsat.....	23
Tabla 5. Descripción de bandas y variables empleadas para MapBiomas Bolivia Colección 3.....	27
Tabla 6. Leyenda de MapBiomas Bolivia Colección 3.....	30
Tabla 7. Descripción de la Leyenda de MapBiomas Bolivia Colección 3.....	32
Tabla 8. Regiones de clasificación de MapBiomas Bolivia.....	43
Tabla 9. Reglas de prevalencia por bioma para la fase de integración.....	49

## **Lista de figuras**

Figura 1. Localización y límites de biomas identificados en Bolivia.....	3
Figura 2. Características abióticas de Bolivia.....	4
Figura 3. Síntesis metodológica de la Colección 3 de MapBiomas Bolivia.....	19
Figura 4. Regiones de mosaicos y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 3 MapBiomas Bolivia.....	20
Figura 5. Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes.....	22
Figura 6. Serie anual de mosaicos de la Colección 3 MapBiomas Bolivia.....	24
Figura 7. Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 3 MapBiomas Bolivia.....	25
Figura 8. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.....	30
Figura 9. Regiones operativas de clasificación.....	44
Figura 10. Temas transversales para MapBiomas Bolivia Colección 3.....	46
Figura 11. Funcionalidad del filtro de Gap Fill.....	47
Figura 12. Funcionalidad del filtro temporal.....	47
Figura 13. Funcionalidad del filtro espacial.....	48
Figura 14. Funcionalidad del filtro de frecuencia.....	48
Figura 15. Funcionalidad del filtro de incidencia.....	49

# 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 desde el año 1985 hasta 2024 de la Colección 3 de MapBiomias Bolivia.

Este documento cubre los métodos de clasificación de imágenes Landsat (L5, L7, L8 y L9), la arquitectura de procesamiento de imágenes y el enfoque para integrar los biomas y regiones presentes en el país. También hay un contexto histórico y antecedentes, así como una descripción general de datos de imágenes satelitales y del método de evaluación de precisión aplicado.

Los procedimientos específicos aplicados en cada tema transversal se encuentran en los apéndices (<https://bolivia.mapbiomas.org/en/download-of-atbds>). Los algoritmos de clasificación están disponibles en el Github de MapBiomias Bolivia (<https://github.com/raisgmb/mapbiomas-bolivia>)

## 1.2 Visión general

El proyecto MapBiomias Bolivia inicia en julio de 2021 con el propósito de contribuir al entendimiento de la dinámica de la cobertura y uso de suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en todo el territorio nacional. El proyecto se desarrolla gracias a: i) avances tecnológicos que permiten el procesamiento en la nube de grandes cantidades de datos espaciales mediante algoritmos albergados en la plataforma Google Earth Engine; ii) la implementación de métodos de procesamiento de imágenes enfocados en el monitoreo de LULC de MapBiomias; iii) el equipo técnico multidisciplinario que con su experiencia realiza el mapeo del territorio; y iv) el apoyo de instituciones y financiadores visionarios que respaldan el proyecto.

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

El mapeo de MapBiomias Bolivia, a la fecha, presenta su tercera colección de mapas anuales; la cual irá evolucionando en metodología, período de análisis, detalle de coberturas mapeadas en el tiempo y una mejora en calidad de estos.

**Colección 1.5:** abarca el mapeo de coberturas y usos desde 1985 hasta 2022. Aunque no fue publicada, presentó mejoras en la clasificación de temas transversales como Minería e Infraestructura urbana en todos los biomas.

La **Colección 2:** Mapeo de coberturas y usos entre los años **1985 y 2023** utiliza *machine learning* (Random Forest), con 156 capas de información (bandas Landsat

originales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices. Variables físicas). La Colección 2 tiene las 14 clases de la versión anterior e incluye cinco clases adicionales, totalizando 19 clases mapeadas, además de otras mejoras en la cobertura y suelo en la clase Transversal Agua.

La **Colección 3** amplía el análisis de coberturas y usos del suelo para el periodo 1985-2024, consolidando una estructura de **23 clases mapeadas**. Esta versión incorpora mejoras metodológicas en la clasificación, permitiendo una mayor precisión en la detección de clases naturales y antrópicas. Además de las 19 clases incluidas en la Colección 2, se integran nuevas categorías que fortalecen la representación de coberturas específicas en las regiones, como es caso de Pajonal y arbustal andino, Pajonal y arbustal andino inundable, Acuicultura, Soya y Otros cultivos.

Las colecciones MapBiomias pretenden contribuir al desarrollo de un método rápido, fiable colaborativo y de bajo coste para procesar conjuntos de datos a gran escala y generar series temporales históricas de mapas anuales de LULC. Todos los datos, mapas de clasificación, códigos estadísticos y otros análisis son de libre acceso a través de la plataforma MapBiomias Bolivia (<http://bolivia.mapbiomas.org>)

Los puntos de la Colección 3 de MapBiomias Bolivia son los siguientes:

- Rasters anuales de clasificación de todo el territorio boliviano;
- Rasters de transiciones anuales entre las clases y años elegidos por el usuario;
- Mosaicos preprocesados generados a partir de colecciones de archivos Landsat (Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, Landsat 9);
- Infraestructura y algoritmos de procesamiento de imágenes (scripts en Google Earth Engine y código fuente);
- Estadísticas anuales y de transición LULC con diversas unidades de análisis;
- Evaluación de calidad de los mosaicos Landsat. Cada escena puede tener una proporción de nubes y otras interferencias. Así, cada píxel de un año determinado se clasifica según el número de observaciones disponibles, variando de 0 a 40 observaciones por año. La evaluación de la calidad de los mosaicos Landsat está disponible en el sitio web de MapBiomias;
- Mapa mural de Cobertura y Uso del suelo en el Bolivia al 2024;
- Infografía nacional sobre las coberturas y usos de la tierra;
- Documento de hallazgos claves en el análisis de los resultados; y
- Documentos técnicos para conocimiento de los procesos por temática.

### 1.3 Área de estudio

El ámbito de trabajo es toda la extensión territorial de Bolivia, posee una superficie oficial de 1.098.581 <sup>1</sup> km<sup>2</sup>, de los cuales, en la clasificación de cobertura y uso de suelo de la colección de MapBiomos Bolivia 3, se definieron 7 biomas (Figura 1): Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano, Pantanal y Tucumano-Boliviano.

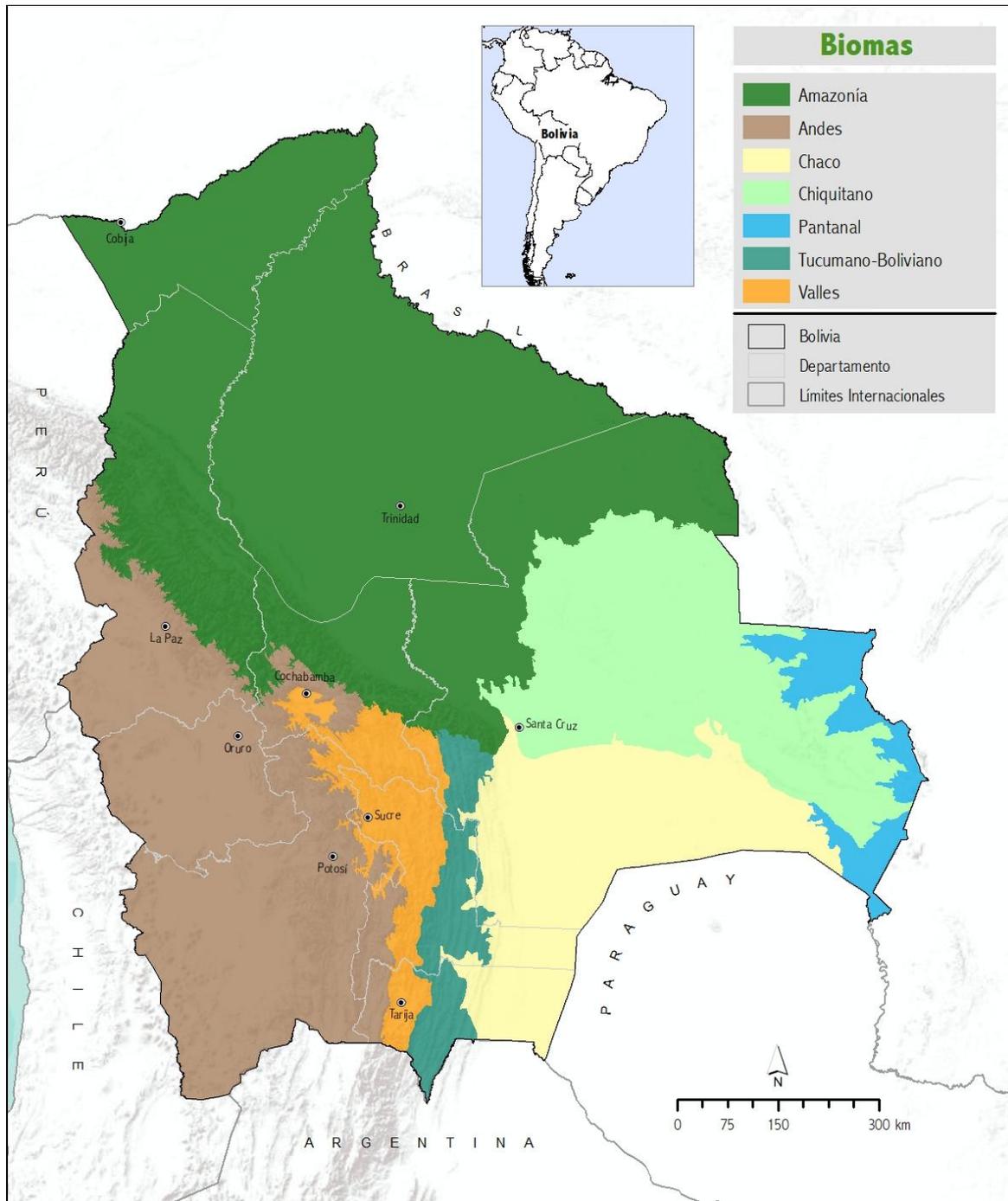
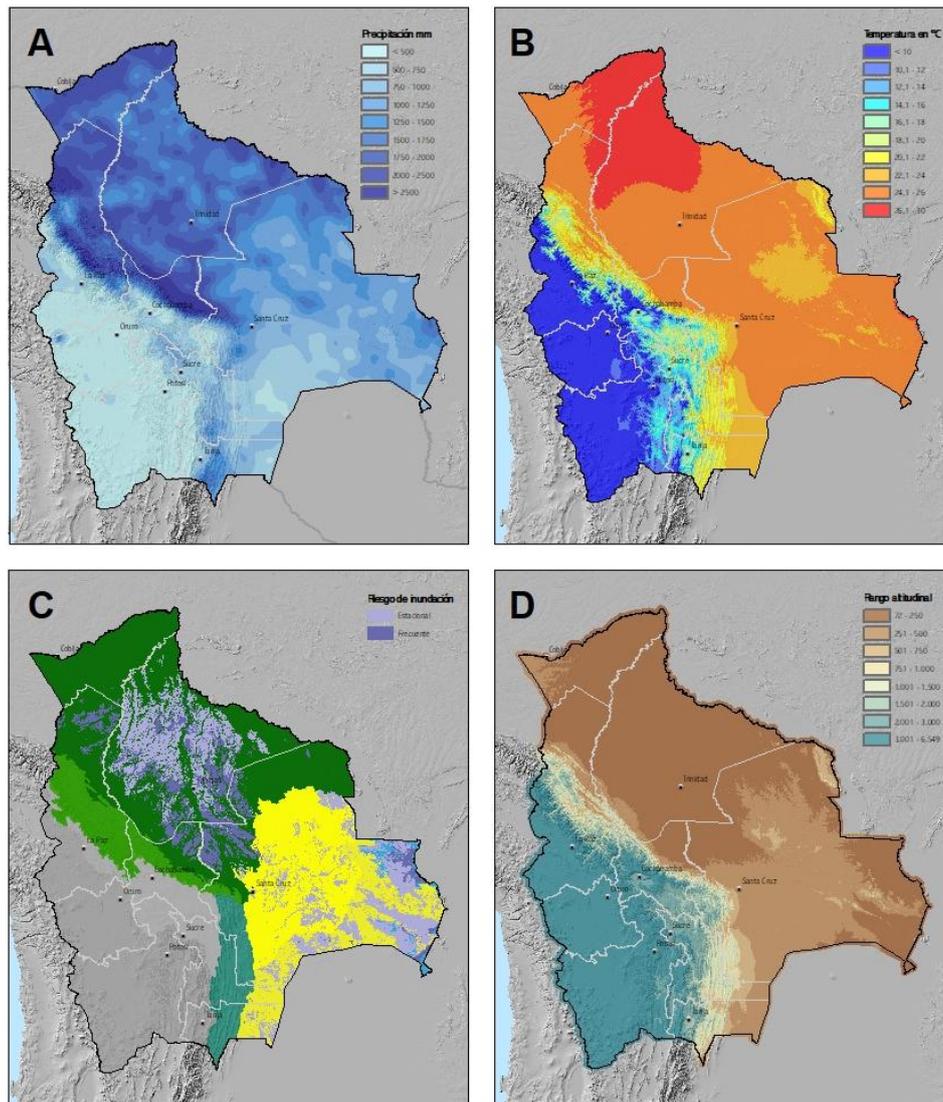


Figura 1. Localización y límites de biomas identificados en Bolivia.

Los biomas y regiones identificados en la colección de MapBiomas Bolivia Colección 3 se diferencian entre ellos por una serie de características bióticas (fisionomías y composición de especies) y abióticas (climáticas, regímenes de inundación y elevación entre otras) (Figura 2). De la misma manera, se emplearon criterios técnicos a partir de la división de ecorregiones de Pierre Ibisch del año 2003. La división de los biomas facilita la clasificación para obtener mejores resultados.



*Nota.* A) Precipitación; B) Temperatura; C) Zonas de inundación; D) Pisos altitudinales.

**Figura 2.** Características abióticas de Bolivia.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estadística (INE). Recopilado de: <https://www.ine.gob.bo/index.php/bolivia/aspectos-geograficos/>

El bioma más extenso es el de Amazonía, ocupa el 44% de la superficie total y se ubica parcialmente en cinco de los nueve departamentos del País. Mientras que el bioma Pantanal posee la superficie más reducida y ocupa el 2,7 % localizado al Este del departamento de Santa Cruz.

A continuación, una descripción breve de las características de cada bioma boliviano, posteriormente una tabla resumen de esta.

### *1.3.1 Bioma Amazonía*

El bioma Amazonía es heterogéneo por tener diferentes pisos altitudinales, formaciones boscosas, paisajes campestres, pastos, lagos, ríos muy diversos, es por ello por lo que se realiza la siguiente división que describe su alta diversidad:

- **Amazonía Alta:** Ocupa principalmente la porción oriental de los Andes tropicales. Está conformada principalmente por formaciones boscosas siempreverdes y Herbazal y arbustal. Las formaciones boscosas se desarrollan generalmente por encima de los 1.100 m de altitud, alcanzando aproximadamente los 3.800 m. Presentan un dosel arbóreo con alturas que oscilan entre los 15 y 25 metros, con árboles emergentes que pueden superar los 30 m.

Las formaciones herbazal y arbustal, dominadas por pastos y hierbas, suelen aparecer por encima de los 2.500 m de altitud, en zonas con suelos poco profundos (como las cimas de serranías), o en áreas de topografía menos accidentada por encima de los 3.000 m, donde se conocen como páramos yungueños. Debido a sus características fisiográficas -como laderas con pendientes elevadas y abruptas-, las principales actividades económicas de esta región incluyen la agricultura a pequeña escala, la ganadería de vacunos, ovinos y caprinos, la extracción selectiva de especies forestales, así como el cultivo de coca, café y cítricos.

- **Amazonía Baja:** Conformado principalmente por fisionomías boscosas siempreverde, así como herbazal y sabanas (sabanas amazónicas) pero en menor proporción. En los bosques, el dosel arbóreo 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). Las formaciones sabánicas-campestres se distribuyen en parches dispersos, principalmente en el extremo Este y Sureste de esta región.

Aparecen en zonas con suelos lateríticos y poco profundos, y donde la capa freática es superficial y/o áreas que se inundan estacionalmente. Las

fisionomías campestres están dominadas por pastos y hierbas; y las sabánicas, además de presentar estas formas de vida, también aparecen árboles y arbustos dispersos (campinaranas y similares al cerrado sensu stricto).

Las principales actividades económicas que tradicionalmente han sido desarrolladas son la extracción de productos forestales maderables y no maderables (castaña, cacao, así, copoazú, etc.), así como la pesca comercial y la ganadería utilizando forrajes nativos. Sin embargo, en los últimos años, se ha ido incrementando las actividades ganaderas provocando el cambio de uso de suelo mediante la implementación de pasturas introducidas. También, se practica la agricultura a pequeña escala y la siembra de cultivos de coca, café y cítricos (Amazonía baja Oeste), así como la agricultura a gran escala (Sur de la Amazonía baja Este y Oeste respectivamente).

- **Amazonía Baja Llanos:** Conformada principalmente por fisionomías herbazal, sabanas y boscosas, pero en menor proporción. Todas estas fisionomías se distribuyen formando un mosaico paisajístico sobre una fisiografía plana y/o ondulada, con elevaciones que no sobrepasan los 300 m de altitud. Geológicamente se divide en dos zonas, la zona Norte que se desarrolla sobre suelos bien drenados, de tipo laterítico, ácidos y pobres en nutrientes; y la zona Sur, la cual se inunda estacionalmente producto del rebalse de los grandes ríos que atraviesan la región.

Los suelos de estas zonas que tienden a inundarse están conformados por sedimentos de origen reciente (cuaternario), siendo relativamente fértiles y con pH neutro a ligeramente alcalinos. Las fisionomías sabánicas y campestres están dominadas por pastos y hierbas, pero las sabánicas incluye la presencia de árboles y arbustos dispersos. Por otro lado, las fisionomías forestales corresponden a bosques húmedos y siempreverdes, los cuales son una prolongación de los bosques amazónicos hacia el interior de una matriz paisajística sabánica-campestre.

La distribución de estos bosques en esta región está restringida únicamente a los principales cursos hídricos, por lo que, al igual que en otras partes de la Amazonía, estos pueden dividirse 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). Fisionómicamente, también son denominados bosques de galería. El dosel arbóreo es variable, pero generalmente alcanza alturas de entre 20 y 25 m, con emergentes de hasta 35 m.

Debido al factor limitante de las inundaciones estacionales, la principal actividad económica es la ganadería extensiva, siendo la principal fuente de forrajes las pasturas nativas de los campos y sabanas de la región, sin embargo al crecimiento tecnológico de la cadena productiva de la carne y la leche, hizo que la ganadería empezará a tomar mayor protagonismo

porque es menos exigente en la calidad de los suelos que son poco profundos, acompañando a estos cambios la normativa legal sobre el uso de suelo en esta región favoreciendo esta actividad, también se dio inicio a programas de implementación de la agricultura mecanizada en la zona este, siendo actualmente el cultivo de arroz el más practicado.

### 1.3.2 *Bioma Andes*

- La fisionomía dominante en este bioma es la pajonal y arbustal andino, la cual crece generalmente por encima de 3.000 m de elevación. En Bolivia es denominada como Puna, posee una cobertura dominada por pajonales, con algunos arbustos dispersos. Los suelos son generalmente secos, aunque existen zonas que se encharcan y se mantienen húmedos durante todo el año (bofedales). Por otro lado, también existen formaciones forestales, aunque en menor proporción, siendo estos, los bosques secos interandinos (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.) y los bosques de *Polylepis* (*kewiñales*, distribuidas por encima de los 3.000 m de altitud y formando manchas dispersas en medio de fisionomías campestres).

Entre las principales actividades económicas desarrolladas en esta región se destacan la ganadería de ovinos, caprinos y camélidos, así como también el cultivo estacional de quinua (*Chenopodium quinoa*), la agricultura de pequeña escala y la agricultura mecanizada.

### 1.3.3 *Bioma Valles*

- Los valles centrales contienen una notable diversidad, con una formación forestal compuesta por Bosque seco deciduo (10-20 m). En su mayoría destruido o fuertemente perturbado. Diferentes formaciones y tipos florísticos; importantes bosques de la vegetación potencial natural, especialmente: bosques mixtos con *Schinopsis haenkeana* y *Aspidosperma quebracho-blanco*, bosque de churqui, bosques con *Acacia visco* y *Prosopis alba*. Parcialmente con presencia de suculentas columnares muy altas (p.ej. *Neoraimondia herzogiana*, Cactaceae).

Su principal actividad es agricultura, ganadería, aprovechamiento de leña/madera; tienen problemas severos de erosión de suelos.

### 1.3.4 *Bioma Chaco*

- La principal formación boscosa es nombrada bosque chaqueño, y en menor proporción las fisionomías sabánicas y herbazal incluidas dentro del complejo denominado como cerrado sensu lato (más usado en Brasil). Estas descripciones son diferenciadas por sus características fisionómicas y estructurales, así como climáticas, geológicas y fisiográficas. Por otro lado, el bosque chaqueño, distribuido en la región Sur, son de carácter deciduos,

microfoliados 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. También presenta un tipo de vegetación semidecuido bajo con suculentas columnares (5-15 m) y diferenciación según humedad. Vegetación Zonal: Algarrobal con *Prosopis nigra* (Capa freática alta), bosque de *Copernicia alba* estacionalmente inundado. En suelos rojos bien drenados con afloramiento rocoso. Geológicamente el bosque chaqueño se desarrolla sobre sedimentos de origen reciente (cuaternario), y cuya fisiografía es denominada como la llanura Chaco-Beniana.

Las actividades económicas más frecuentes fueron la ganadería de ramoneo y extracción de combustible vegetal (leña y producción de carbón). Sin embargo, recientemente, como consecuencia de las nuevas colonizaciones que se han establecido sobre la región chaqueña, todas las actividades económicas tradicionales están siendo sustituidas por la agricultura de pequeña (comunidades campesinas) y gran escala (empresas agrícolas y colonias menonitas).

#### 1.3.5 *Bioma Chiquitano*

- La formación forestal corresponde al bosque chiquitano el cual se asienta sobre el escudo precámbrico, que varía entre semidecuido y decuido, y el cerrado sensu lato, ambas desarrolladas sobre una fisiografía de llanura ondulada. Bosque medianamente alto semidecuidos con suculentas columnares (15-20 / -25 cm). El dosel arbóreo del bosque se distribuye entre 15 a 20 m de altura, con árboles emergentes que alcanzan hasta poco más de 25 m. Forma un mosaico complejo con otras ecorregiones como el cerrado y sabanas inundables.

En las serranías se encuentra prácticamente bosque siempreverde muy poco conocido albergando relictos muy interesantes. Es una ecorregión exclusiva de Bolivia, uno de los bosques secos más ricos en especies de plantas a escala global. Los bosques montaños de mayor altitud de las tierras bajas de Bolivia y de las regiones adyacentes.

La actividad económica tradicionalmente practicada es la agricultura industrializada y ganadería en gran escala mediante pasturas introducidas, aprovechamiento de forrajes nativos, aprovechamiento de madera, minería y transporte de productos petroleros (gasoducto).

#### 1.3.6 *Bioma Tucumano-Boliviano*

- La formación forestal de este bioma es compuesta por Bosques semihúmedos (semi-) decuidos con lapacho (*Tabebuia lapacho*) hasta siempreverdes en pisos inferiores (con Myrtaceae: *Blepharocalyx salicifolius*, *Myrcianthes spp.*, y Lauraceae). En pisos superiores (1.800/2.200 m hasta 2.500/3.200 m) bosque siempreverde con pino (*Podocarpus parlatorei*) y bosques decuidos con *Alnus acuminata*. Más arriba, en

altitudes hasta 3.900 m, se encuentran relictos de *Polylepis crista-galli*. Podría considerarse como parte del Bioma Bosques de Polylepis, pajonales, matorrales y vegetación saxícola altimontanos Boliviano- Tucumano. Los bosques pueden ser semidecíduos, húmedos y siempreverdes, alcanzan alturas entre 15 a 25 m.

La actividad económica tradicionalmente practicada es el aprovechamiento de madera, actividad agrícola y de pastoreo creciente. Agricultura a pequeña y mediana escala; ganadería de ramoneo. Extracción selectiva de especies de valor forestal. Amenazas: Ingreso de proyectos hidroeléctricos e hidrocarbúricos. Ampliación de la actividad ganadera y agrícola.

### 1.3.7 *Bioma Pantanal*

- El Pantanal Boliviano, el cual forma parte del humedal de agua dulce más grande del mundo, distribuido en tres países: Brasil, Bolivia y Paraguay con una superficie estimada de 340.500 Km<sup>2</sup> de los cuales, 26.721 km<sup>2</sup> corresponden al bioma.

Su vegetación está dominada por sabanas inundables conformadas por gramíneas y ciperáceas; pantanos, vegetación herbácea acuática, bosques ribereños inundables, bosques bajos, abiertos y palmares extensos. Su superficie es plana con una extensa área de inundación y grandes lagunas por rebalses del Río Paraguay, presenta suelos aluviales frecuentemente con problemas de drenaje, con una distribución altitudinal entre 100 a 800 m.

Su principal actividad es la ganadería seguida de turismo, pues dentro de esta se encuentran dos áreas protegidas nacionales: Área Natural de Manejo Integrado San Matías y el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Otuquis.

**Tabla 1.** Resumen de las características de la cobertura y uso de suelo de los biomas bolivianos.

<b>Bioma</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>) (% País)</b>	<b>Descripción de la cobertura</b>
<b>Amazonía</b>	476.181 44%	Bosques húmedos siempreverdes y casi siempreverdes, bosque seco Chiquitano, bosque de galerías e islas de bosque. Presentan un dosel arbóreo de 15 a 35 m. Este bioma abarca siete áreas protegidas nacionales como ser el Madidi, TIPNIS, Carrasco, entre otros.
<b>Andes</b>	233.257 22%	La vegetación se ubica encima de los 3.000 m de altitud, como ser: pajonales altoandinos, matorrales, formaciones herbáceas, arbustos dispersos y en menor proporción bosques secos interandinos y de Polylepis, Resalta en este bioma la presencia de los desiertos de sal y glaciares, el cual origina lagunas, lagos y coberturas inundadas como los bofedales.
<b>Valles</b>	49.088 4%	Formación forestal compuesta por Bosque seco deciduo (10-20 m). Parcialmente con presencia de suculentas columnares muy altas
<b>Chaco</b>	121.691 11%	Bosque chaqueño, se caracteriza por ser deciduos o semideciduo microfoliado y espinoso, con un dosel arbóreo arbustivo de entre 3 a 5 m de altura. Asimismo, fisionomías de sabanas y herbazal.
<b>Chiquitano</b>	142.794 13%	Bosque chiquitano, semideciduos a deciduos con un dosel arbóreo entre 15 a 20 m de altura. Resalta el bosque más seco, extenso y más rico en especies de plantas a escala global. Presenta sabanas como el cerrado sensu lato e inundables.
<b>Tucumano-Boliviano</b>	32.205 3%	Bosques de Polylepis, pajonales, matorrales y vegetación saxícola altimontanos Boliviano-Tucumano. Se ubican entre los 800 y 3.500 de elevación. Los bosques pueden ser semideciduos, siempreverdes y húmedos, alcanzan alturas entre 15 a 25 m.
<b>Pantanal</b>	28.659 3%	Sabanas arboladas, hidrogeofíticas, palmares inundables, bosques inundables, bosques abiertos ubicados entre 100 a 800 m de altitud.

## 1.4 Aplicaciones

Las aplicaciones de los productos de MapBiomias Bolivia pueden derivarse en diferentes productos, incluyendo

- Monitoreo anual de las áreas amenazadas por la conversión de las coberturas naturales y con riesgo a deforestación.
- Complementar a estudios de estimación de emisión de gases de efecto invernadero por cambio de uso y cobertura de suelo en el país.
- Mapear y cuantificar las transiciones del cambio y uso de suelo.
- Cuantificación de transiciones de cobertura y uso del suelo, de pérdidas y ganancias de bosques.
- Monitoreo de bosques en regeneración y crecimiento secundario.
- Monitoreo de los cuerpos de agua y su interacción con las diferentes clases identificadas en la dinámica de cobertura y uso de suelo.
- Monitoreo de la expansión agrícola, ganadera y urbana
- Monitoreo de los desastres naturales
- Identificación de procesos de desertificación
- Planeación territorial
- Gestión de áreas protegidas
- Modelos de distribución climática

MapBiomias Bolivia no sólo complementa los esfuerzos ya existentes a nivel nacional y global, sino también trae consigo ventajas adicionales como son: 1) los mapas de MapBiomias Bolivia han sido construidos empleando la colección completa de datos Landsat (40 años) con una temporalidad anual; 2) el producto entero comparte una misma metodología, leyenda, resolución temporal y espacial, permitiendo así comparaciones entre regiones; 3) el producto es preparado por expertos conocedores de la realidad nacional, generando un producto con miras a aplicaciones de carácter local; 4) MapBiomias Bolivia 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

En esta sección se brindará información crítica y contextual complementaria pero significativa para comprender los productos y métodos de MapBiomias para generar las colecciones.

#### 2.1.1 *Fundación Amigos de la Naturaleza - FAN*

La Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) es una organización de la sociedad civil sin fines de lucro, creada el año 1988. En sus más de 30 años de labor institucional en Bolivia, sus acciones están dirigidas en la implementación de acciones de conservación y mantenimiento del Patrimonio Natural a través de la

mitigación y adaptación al cambio climático, el biocomercio, la gestión municipal, la investigación y planificación para la conservación, y la comunicación.

Los proyectos y más información sobre el trabajo desarrollado por FAN están disponibles en su página web: <https://www.fan-bo.org/>

### *2.1.2 MapBiomias*

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

En 2022 la red sumó la iniciativa en Chile y la extensión de los países en: Argentina, Bolivia, Colombia, Paraguay, Ecuador, Perú y Venezuela, todos ellos involucrando a instituciones locales. El objetivo principal es producir colecciones de mapas anuales de cobertura y uso del suelo que reflejan la dinámica de las transformaciones en los diferentes biomas en América del Sur y otras regiones tropicales y subtropicales.

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

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

## **2.2 Datos de percepción remota**

Los datos para mapeo utilizados por la iniciativa MapBiomias Bolivia para su Colección 3 fueron obtenidos de las imágenes satelitales del periodo 1985 a 2024 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, para los años 2000-2022), Landsat 8 (L8, 2013 en adelante) y Landsat 9 (L9, 2013 en adelante). Las imágenes de reflectancia de superficie (Surface Reflectance) pertenecen a la Colección 2 del catálogo de datos Landsat<sup>2</sup> con nivel de corrección Tier 1, que fueron sometidas a calibración radiométrica, ortorrectificación basada en puntos de control en tierra y modelos de elevación digital para asegurar un registro a nivel de píxel y una corrección atmosférica.

Las colecciones de imágenes Landsat de 30 m 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).

### **2.3 Google Earth Engine y MapBiomás Amazonía**

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma en la nube para el análisis de datos geoespaciales a nivel global. Ofrece acceso a extensos catálogos de datos satelitales, procesamiento a escala petabyte, APIs en JavaScript y Python, y un entorno de desarrollo en línea (Code Editor). Estas herramientas permiten realizar análisis complejos, como la clasificación de imágenes satelitales y el mapeo de coberturas, usos y cambios del uso del suelo. GEE también promueve la colaboración entre equipos regionales, como RAISG, y facilita la aplicación y replicación de metodologías sobre un mismo conjunto de datos por diferentes usuarios.

La cadena de procesamiento de MapBiomás está basada enteramente en tecnología de Google y, como tal, la iniciativa MapBiomás Amazonía se ha apoyado en GEE para 1) procesar imágenes satelitales en infraestructura computacional en la nube, 2) desarrollar códigos (scripts) en Javascript y Python, 3) almacenar los datos generados usando almacenamiento en la nube, y 4) desplegar los resultados (mosaicos, mapas anuales de uso del suelo, análisis de transición, estadísticas por clase y por transición, información metodológica, entre otros) a través de una plataforma web de consulta pública accesible en <http://plataforma.bolivia.mapbiomas.org>.

El procesamiento de imágenes de MapBiomás se basa en la tecnología de Google, que incluye procesamiento de imágenes en infraestructura de computación en la nube, programación con Javascript y Python a través de Google Earth Engine (GEE) y almacenamiento de datos con Google Cloud Storage. Google define Google Earth Engine como: “una plataforma para el análisis científico a escala de petabytes y visualización de conjuntos de datos geoespaciales, tanto para beneficio público como para empresas y usuarios del gobierno.”

---

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

## 2.4 Otras iniciativas de mapeo

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

### 2.4.1 Fuentes mundiales de región

- **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 13 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
- **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 2024.
- **GlobeLand30:** Es una iniciativa del *National Geomatics Center of China*, que comprende conjuntos de datos espaciales recopilados a una resolución de 30 metros. Esta colección considera diez tipos de cobertura terrestre, incluidos bosques, superficies artificiales y humedales, para los años 2000 y 2010. Se extrajeron a partir de más de 20,000 imágenes satelitales de Landsat y del satélite chino HJ-1.
- **ESA CCI Land cover:** La agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) y la Iniciativa de Cambio Climático (CCI por sus siglas en inglés) pone a disposición mapas globales anuales de cobertura terrestre, que describen la superficie de la tierra en 22 clases. La serie de mapas globales anuales de cobertura terrestre abarcan el período desde 1992 a 2018.
- **CORINE Land Cover:** El inventario CORINE Land Cover (CLC) se inició en 1985 (año de referencia 1990). Se han realizado actualizaciones en 2000, 2006, 2012 y 2018. Consiste en un inventario de cobertura terrestre en 44 clases. CLC utiliza una Unidad Mínima de Mapeo (MMU) de 25 hectáreas (ha) para fenómenos de área y un ancho mínimo de 100 m para fenómenos

lineales. Las series de tiempo se complementan con capas de cambio, que destacan los cambios en la cobertura del suelo con una MMU de 5 ha.

- **ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2:** Esta capa muestra un mapa global de uso del suelo / cobertura del suelo (LULC) del año 2020. El mapa se deriva de imágenes ESA Sentinel-2 con una resolución de 10 metros y contiene 10 clases. Este mapa fue producido por un modelo de aprendizaje profundo entrenado con más de 5 mil millones de píxeles Sentinel-2 etiquetados a mano, muestreados en más de 20.000 sitios distribuidos en los principales biomas del mundo.
- **ESA WorldCover 2020 y 2021:** Es un producto de cobertura terrestre global de referencia con una resolución espacial de 10 m, generado a partir de imágenes de Sentinel-2 y Sentinel-1 con 10 clases de cobertura terrestre y una precisión general de 75%. La leyenda incluye 11 clases genéricas que describen adecuadamente la superficie terrestre: "Cobertura arbórea", "Matorral", "Pastizales", "Tierras de cultivo", "Construido", "Vegetación desnuda/escasa", "Nieve y hielo", "Cuerpos de agua permanentes", "Humedal herbáceo", "Manglares" y "Musgos y líquenes".
- **Dynamic World:** Es un conjunto de datos de cobertura de suelo global de uso de la tierra con una resolución de 10 m casi en tiempo real, generado a partir de imágenes de Sentinel-2, producido mediante aprendizaje profundo, disponible gratuitamente y con licencia abierta. La leyenda presenta las probabilidades por píxel en 9 clases de cobertura terrestre: Agua, Formación forestal, arbusto y matorral, herbazales, vegetaciones inundables, cultivos, construcciones, suelo desnudo, nieve y hielo. Estos datos son el resultado de una asociación entre Google y el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) para producir un conjunto de datos dinámicos del material físico en la superficie de la Tierra.

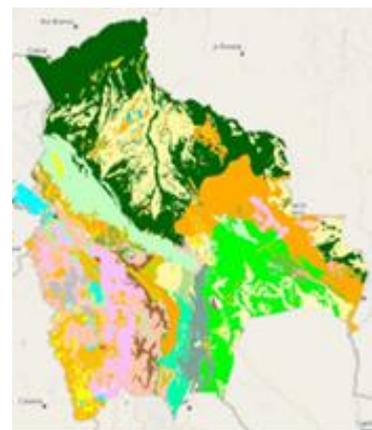
#### 2.4.2 Fuentes para la región Amazónica

- **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean:** Presenta y esboza la base conceptual para una unidad de clasificación de los sistemas ecológicos. Estos representan grupos recurrentes de comunidades biológicas que se encuentran en entornos físicos similares y están influenciados por procesos ecológicos dinámicos similares, como incendios o inundaciones. El objetivo fue proporcionar una unidad de clasificación de "mesoescala" que sea fácilmente mapeable, a menudo a partir de imágenes de satélites, y fácilmente identificable en el campo. El proyecto fue desarrollado por *NatureServe* y sus programas miembros, con fondos de *The Nature Conservancy*, completando una clasificación funcional de los sistemas ecológicos terrestres en América Latina y el Caribe. El informe resume los casi 700 sistemas ecológicos que actualmente se clasifican y describen, enfatizando la porción natural del paisaje
- **Land Cover Map Of South America:** Mapa digital de la cobertura terrestre de América del Sur con base a imágenes satelitales tomadas entre 1995 y el año 2000. La escala de mapeo tiene una resolución espacial de 1 km. Este mapa se produjo como parte del proyecto Global Land Cover - "GLC 2000"

- **Mapa de cobertura terrestre de América Latina y el Caribe en el marco del proyecto SERENA:** Es un mapa de cobertura terrestre para América Latina y el Caribe (ALC) para el año 2008. Fue desarrollado en el marco del proyecto Red Latinoamericana de Monitoreo y Estudio de Recursos Naturales (SERENA). El mapa de cobertura del suelo SERENA para ALC integra: 1) la experiencia local de los miembros de la red SERENA para generar los datos de capacitación y validación, 2) una metodología para el mapeo de la cobertura del suelo basada en árboles de decisión que utilizan series de tiempo MODIS y 3) estimaciones de membresía de clase para tener en cuenta los problemas de heterogeneidad de píxeles.
- **Deforestación en la Amazonía:** Es un estudio realizado por RAIG 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.
- **MapBiomás Amazonía Colecciones de Cobertura y Uso,** es un estudio a partir de imágenes de satélite Landsat que genera mapas anuales de cobertura y uso del suelo en la Amazonía, con una resolución espacial de 30 m. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos. A la fecha utiliza el catálogo de imágenes C2 de Landsat y presenta una leyenda de 19 clases mapeada para la Amazonía boliviana en el período de 1985 a 2023.

#### 2.4.3 Fuentes para el territorio nacional

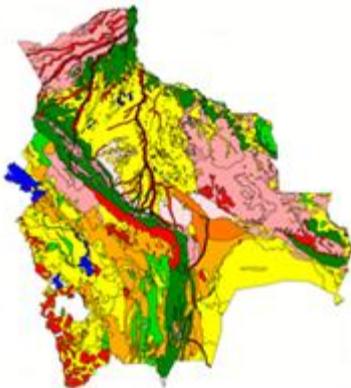
- **Mapa de cobertura y uso de la tierra, 1978:** El mapa representa las características ambientales, uso de suelo y recursos naturales del territorio boliviano. Generada en base a las primeras imágenes del satélite Landsat del año 1978, a través de la metodología Land Cover Classification System (Sistema de clasificación de cobertura de la tierra), diseñada por la FAO y una interpretación manual de las mismas. Elaborado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales (ERTS - Bolivia) del Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) en el año 1978 a escala 1:1.000.000. Actualizado en el año 2001.



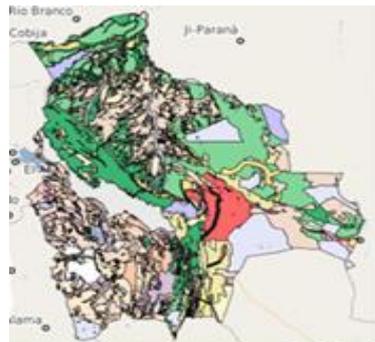
- **Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa representa los elementos naturales y antrópicos de la superficie terrestre, la información que describe es un importante insumo para la planificación y modelamiento. Fue elaborado por la Superintendencia Agraria en base a un monitoreo quinquenal de imágenes de satélite Landsat 7, capturadas en los años 1999 y 2000 correspondientes en su mayoría a los meses de junio, julio y agosto, también de los meses de mayo y septiembre, que permitió observar los cambios en la cobertura y uso de la tierra de todo el territorio nacional. Publicado en el año 2002 a escala 1: 1.000.000.



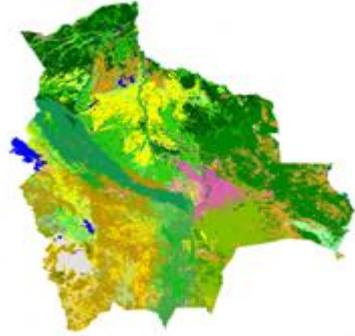
- **Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa presenta la clasificación de tierras según su capacidad de uso (CUMAT). Se basa en los efectos combinados del clima y las características permanentes de los suelos, capacidad productiva de la tierra, limitaciones en el uso de la tierra, riesgos de dañar el suelo y requerimiento de manejo de los suelos. Esta clasificación, une a los suelos basándose en rasgos del terreno superficial y en las propiedades de los suelos que pueden ser evaluadas por observación y al tacto, clasificándolos en tres categorías de tierras: clases, subclases y unidades para Bolivia



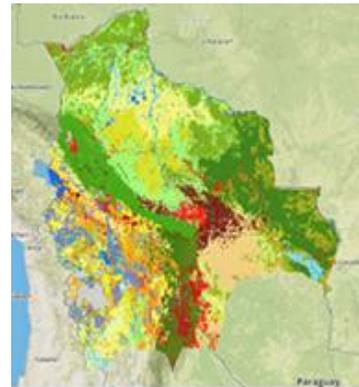
- **Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia, 2002:** La zonificación agroecológica y socioeconómica (ZAE) representa zonas de uso sostenible de la tierra y sus recursos naturales renovables. La zonificación busca ordenar el uso, el mismo de acuerdo con su aptitud, considerando las condiciones socioeconómicas bajo las cuales la población usuaria la tierra. Elaborado por la Unidad de Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación del Desarrollo en el año 2002 a escala 1:1.000.000



- **Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2010:** El mapa es un instrumento técnico que describe en términos de cobertura de la tierra, todos los recursos existentes en nuestro país, identificando el uso actual por cada categoría de cobertura. Fue elaborado por la Unidad Técnica Nacional de Información de la Tierra - UTNIT en base a imágenes de satélite Landsat 5 TM de alcance medio, correspondientes al periodo 2006 - 2010. Publicado en el año 2011 a escala 1:1.000.000



- **Mapa de Potenciales Productivas de Bolivia, 2013:** El mapa muestra el potencial productivo del país en sus diferentes rubros y áreas geográficas. Identificadas en base al tipo de uso de la tierra, especialización biofísica y especialización socioeconómica a nivel departamental y municipal de Bolivia. Elaborado por el Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, a través de la Unidad de Análisis Productivo (UDAPRO) y el Sistema de Información Territorial de Apoyo a la Producción (SITAP) en el año 2013 a escala 1:100.000.



### 3 Metodología

La cadena de procesamiento adoptada para la generación de la Colección 3 MapBiomos Bolivia se encuentra sintetizada en la Figura 3 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).

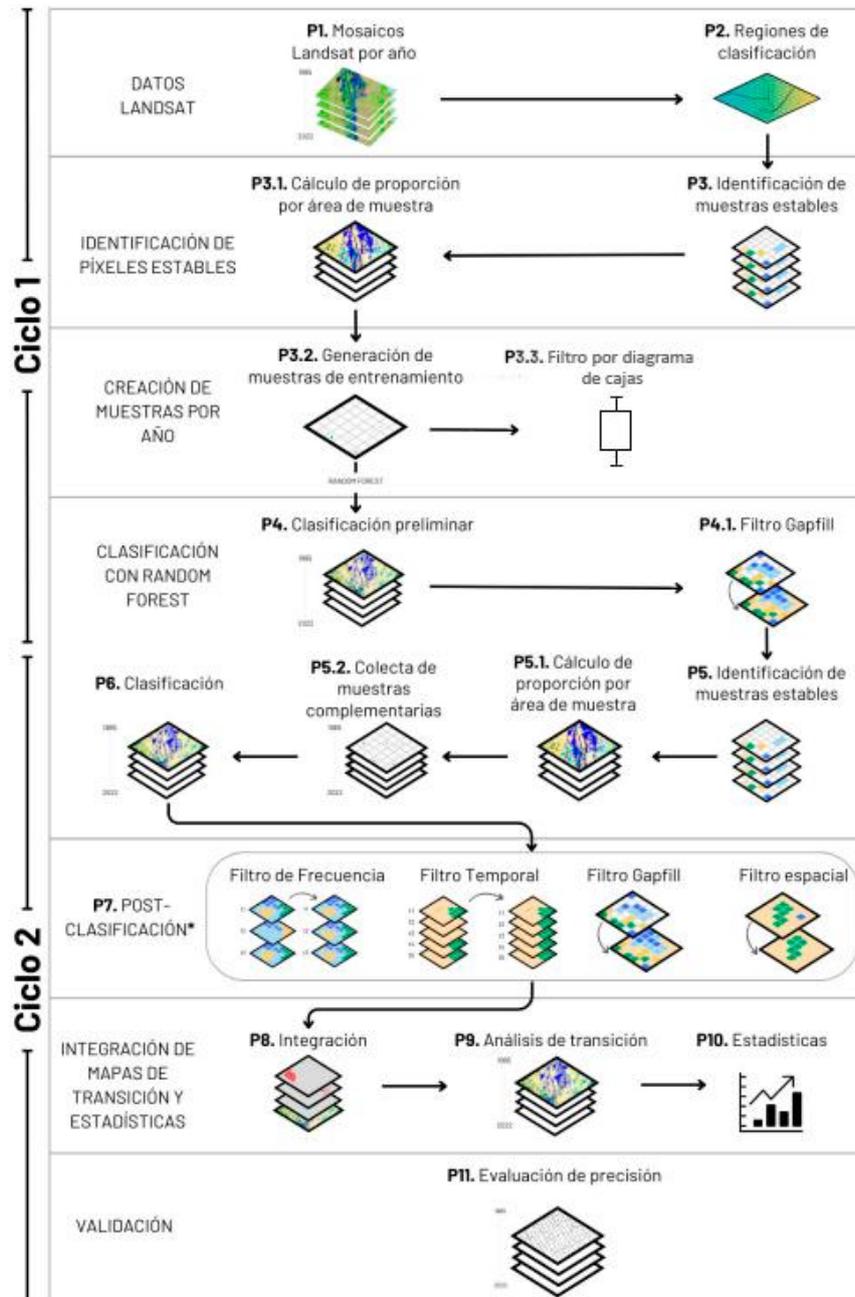
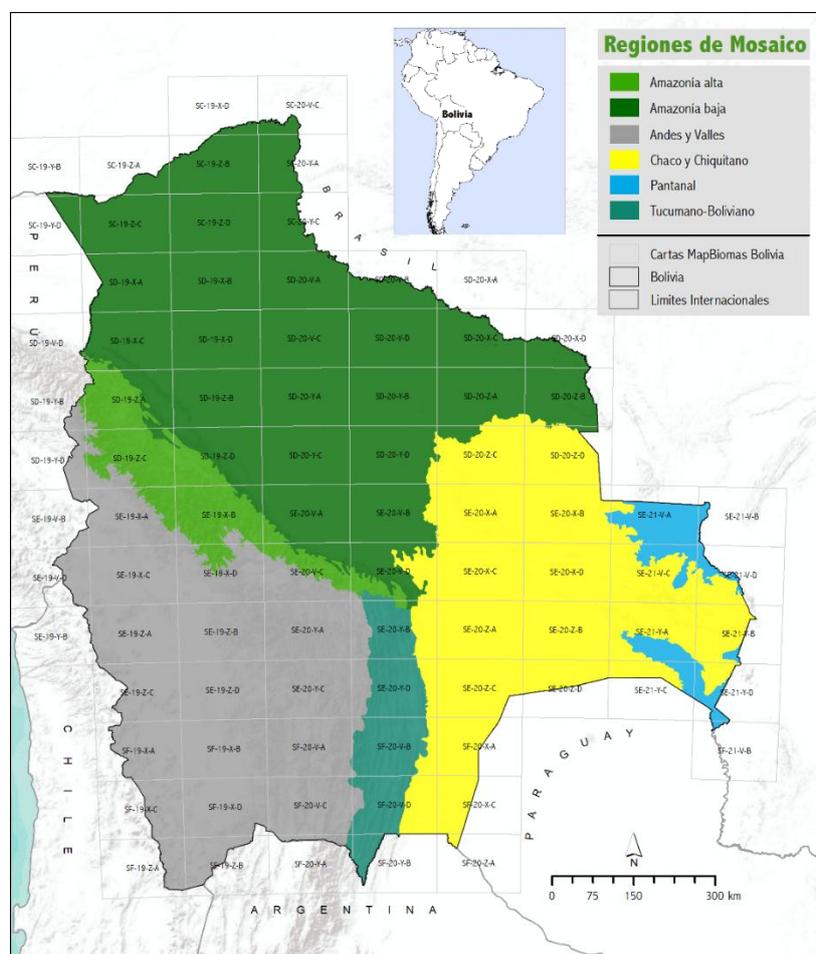


Figura 3. Síntesis metodológica de la Colección 3 de MapBiomos Bolivia.

### 3.1 Generación de mosaicos anual

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

La presente metodología divide el territorio nacional en una grilla de cartas regulares definidas con base a la grilla de Cartas internacionales del Mundo a la Millonésima, a escala de 1:250.000. Cada carta cubre un área de 1°30' de longitud por 1° de latitud. Bolivia está cubierta por 87 cartas, de las cuales, 27 son compartidas con Brasil, 13 cartas con Perú, 8 con Paraguay, 8 con Argentina y 8 con Chile (Figura 4). Las cartas fueron subdivididas por los límites de los biomas: Amazonía (Alta y Baja), Andes y Valles, Chaco y Chiquitano, Pantanal, Tucumano-Boliviano y Pantanal, con un total de 143 cartas. El período de análisis abarca 40 años desde el año 1985 al 2024, dando un total de 5.720 mosaicos Landsat (143 cartas/biomas x 40 años, Tabla 2).



**Figura 4.** Regiones de mosaicos y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 3 MapBiomas Bolivia.

**Tabla 2.** Número de mosaicos de imágenes satelitales procesadas para MapBiomás Bolivia.

Regiones de Mosaico	Cantidad de imágenes	Total de mosaicos
Amazonia Alta	14	560
Amazonia Baja	42	1.680
Andes y Valles	32	1.280
Chaco	19	760
Chiquitano	17	680
Tucumano-Boliviano	9	360
Pantanal	10	400
<b>Total Mosaicos</b>	<b>143</b>	<b>5.720</b>

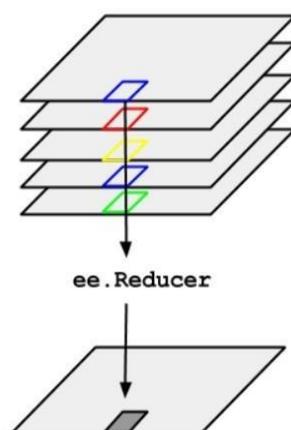
**Nota.** El número total de mosaicos se refiere a lo largo de 40 años por bioma.

### 3.1.2 Parametrización de mosaicos anuales

Un mosaico anual que se construye en la presente metodología es formado mediante la adición de píxeles de un conjunto de imágenes Landsat a partir de los que se genera un mosaico representativo para un respectivo año, el mismo está construido basado en los siguientes parámetros:

- **ID:** Identificador único de la unidad carta-región
- **Año:** Año de la serie (1985 a 2024) al que corresponde el mosaico.
- **Carta:** Código identificador del vector de la carta
- **País:** Código de identificación para Bolivia
- **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 y Landsat 9 OLI-2 TIRS-2.
- **Nubosidad:** Porcentaje máximo de cobertura de nubes aceptado de cada imagen Landsat que será usado para construir el mosaico de imágenes.
- **Probabilidad de nubes:**
  - o **ShadowSum:** Es un parámetro de TDOM para detección de sombra de nube. Un número inferior enmascarar menos píxeles con nube.
  - o **CloudThreshn:** Es un parámetro de CloudScore para detección de nubes. Los números más bajos aumentan el enmascaramiento, los números más altos disminuyen el enmascaramiento.
  - o **Blacklist:** Imágenes que por su calidad son excluidas de la construcción del mosaico.

Los parámetros de construcción de mosaicos anuales son definidos por el intérprete y representan los criterios de selección de imágenes disponibles en la Colección de datos Landsat a partir de los cuales se construye el mosaico anual. Las imágenes seleccionadas por año fueron reducidas a una imagen individual, o mosaico anual, empleando operadores llamados reductores existentes en Google Earth Engine, como se ilustra en la Figura 5.



*Nota.* Google, 2020

**Figura 5.** Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes<sup>3</sup>

Al momento de parametrizar los mosaicos se consideró que se puede alcanzar valores de precisión mayores al utilizar mosaicos de imágenes satelitales cuyos datos cuenten con la menor cantidad de ruidos. Es por ello por lo 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 periodo seleccionado, donde se optó por extender el periodo de búsqueda de imágenes.

Las 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.

Cada mosaico es obtenido juntando una serie de imágenes Landsat para componer la mejor imagen posible en un determinado periodo de tiempo, tomando como parámetros la temporalidad. El porcentaje de nubosidad hasta 30% y sensor (L5, L7, L8 y L9, se lo define dependiendo del año y de la disponibilidad de imágenes). Se puede apreciar los resultados de la generación de mosaicos para todo el territorio boliviano para los 40 años de estudio, 1985-2024 en la Tabla 3.

<sup>3</sup> Tomado de: [https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers\\_image\\_collection](https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_image_collection)

**Tabla 3.** Resumen de parámetros utilizados en la construcción de mosaicos.

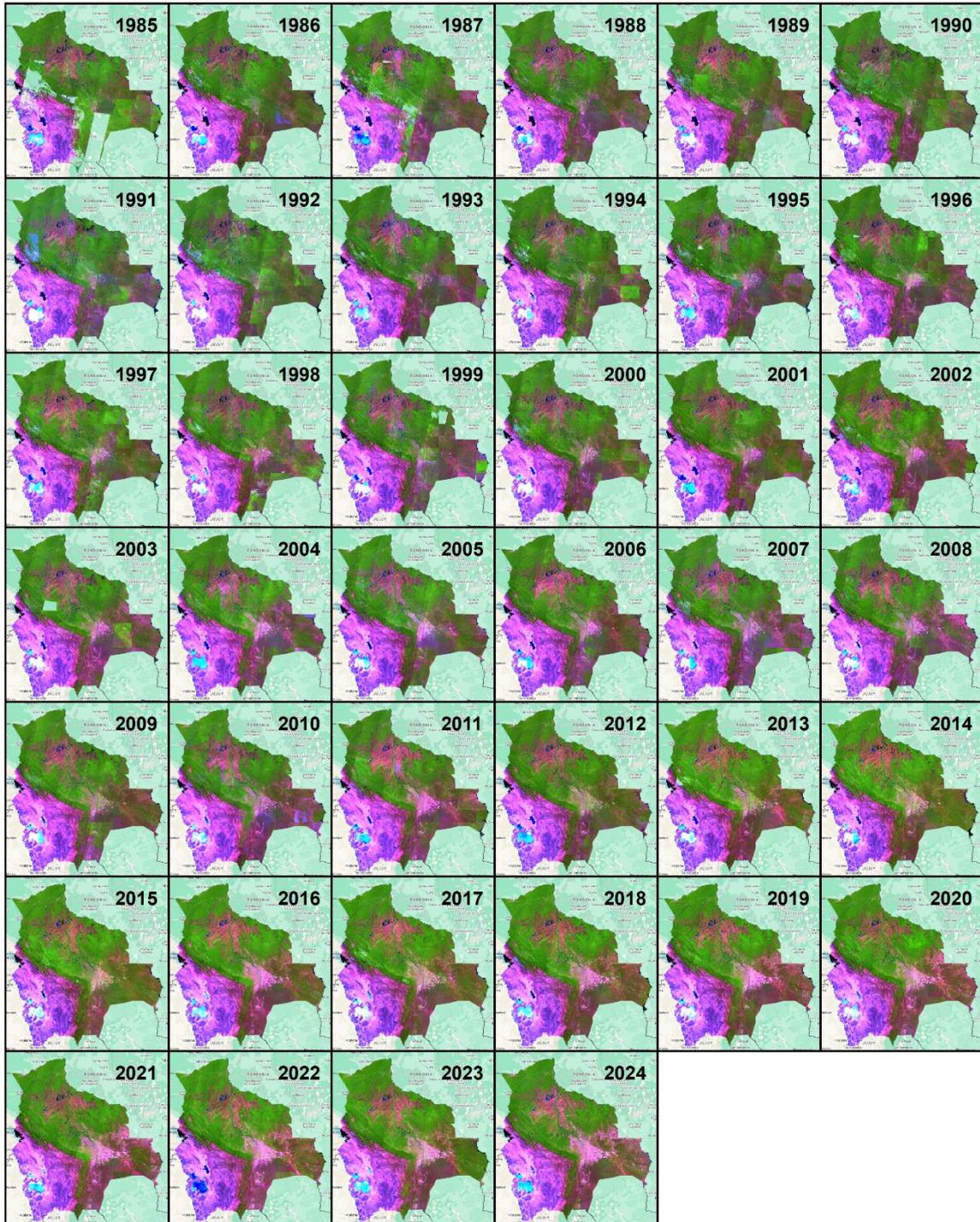
Región de Mosaico	Satélite	Año	Periodo	% Nubes
Amazonía	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio - 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2024		
	L9	2013-2024		
Andes y Valles	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 enero - 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2024		
	L9	2013-2024		
Chaco y Chiquitano	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio - 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2024		
Tucumano-Boliviano	L5	1985-1999, 2003-2011	1 enero - 30 diciembre	
	L7	2002, 2012	1 abril - 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2024		
Pantanal	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 abril - 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2024		

El análisis de la calidad de las imágenes se realizó mediante una evaluación visual de cada uno de los mosaicos en base a los criterios de la Tabla 4. Donde al final se obtuvieron tres categorías: 1) Buena, 2) Regular y 3) Mala.

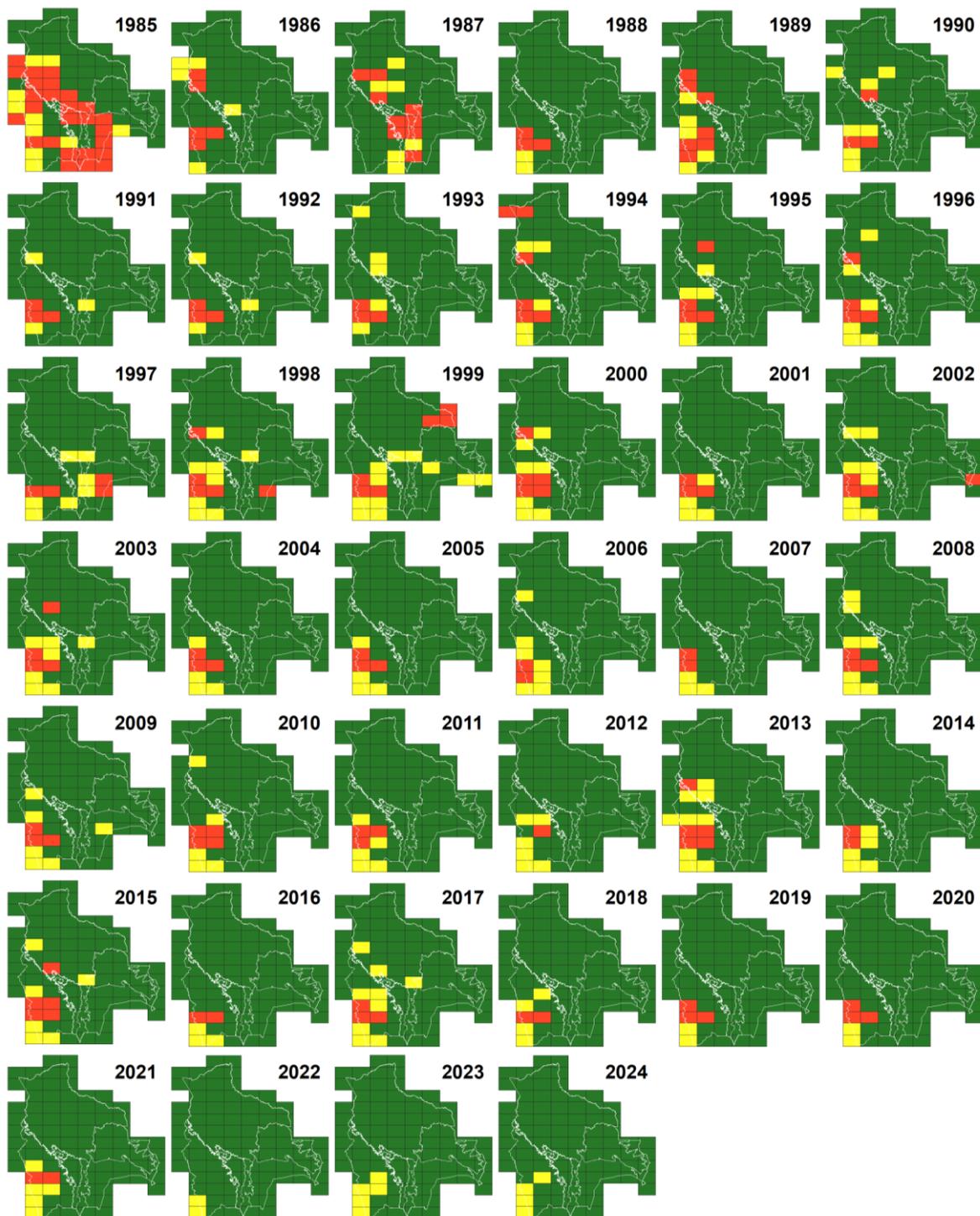
**Tabla 4.** Parámetros para la evaluación de calidad de los mosaicos de imágenes Landsat

Calidad	Símbolo	% Cubierto	% Ruido Nubes	% Ruido Bando	% Ruido Sombra Relieve
Buena	B	> 88	< 5	< 5	< 5
Regular	R	> 65 - 95	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Mala	M	< 65	> 10	> 10	> 10

De los 5.720 mosaicos construidos para los 40 años, el 89% se evaluaron como bueno, 7% como regular y 4% como malo o de baja calidad. Siendo los años 1985 y 1987 los años que presentan más mosaicos con mala calidad y están presentes principalmente en las regiones Amazonía Alta, Andes y Tucumano-Boliviano (Figura 7).



**Figura 6.** Serie anual de mosaicos de la Colección 3 MapBiomias Bolivia.



Calidad de la clasificación Buena ■ Regular ■ Mala ■

**Figura 7.** Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 3 MapBiomás Bolivia.

### 3.2 Variables de clasificación o feature space

Se calcularon variables de clasificación (feature space) a partir del mosaico anual que representan los insumos del proceso de clasificación. Las bandas Landsat, junto con las variables de clasificación se encuentran consolidados en archivos ráster compuestos por 156 bandas en total<sup>4</sup> que incluyen: las bandas landsat espectrales, índices espectrales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices de las fracciones espectrales.

Adicionalmente se usaron 7 variables estáticas: HAND, shademask2, slppost, altitud, pendiente, latitud y longitud; que ayudaron a la clasificación de clases que espectralmente son muy similares, pero se logran diferenciar por estos aspectos topográficos. A las imágenes disponibles en cada año, se aplicó el cálculo de reductores estadísticos para generar los valores de cada píxel. Estos reductores son:

- Mediana: Mediana<sup>5</sup> de todos los valores disponibles en el mosaico anual para esa ubicación (píxel).
- Mediana época seca: Cálculo de la mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 25 (con los menores valores) de NDVI (proxy de época seca). Mediana época húmeda: Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).
- Amplitud: Extensión de la variación entre todos los píxeles disponibles en el mosaico anual.
- Desviación estándar: Desviación estándar de los valores de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual para una ubicación determinada.
- Mínimo: Menor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada. Máximo: Mayor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
- Mínimo del periodo seco: Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca). Mínimo del periodo húmedo: Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
- Máximo del periodo seco: Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca). Máximo del periodo húmedo: Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
- QMO del periodo seco: El valor más alto que tiene la banda en el índice EVI2 en la estación seca. QMO del periodo lluvioso: El valor más alto que tiene la banda en el índice EVI2 en la estación húmeda.

---

<sup>4</sup> Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomias Bolivia.

<sup>5</sup> Mediana es el valor que separa la mitad superior de la mitad inferior de una muestra de datos o una población. [Documentación](#) de la herramienta en Google Earth Engine.

**Tabla 5. Descripción de bandas y variables empleadas para MapBiomás Bolivia Colección 3**

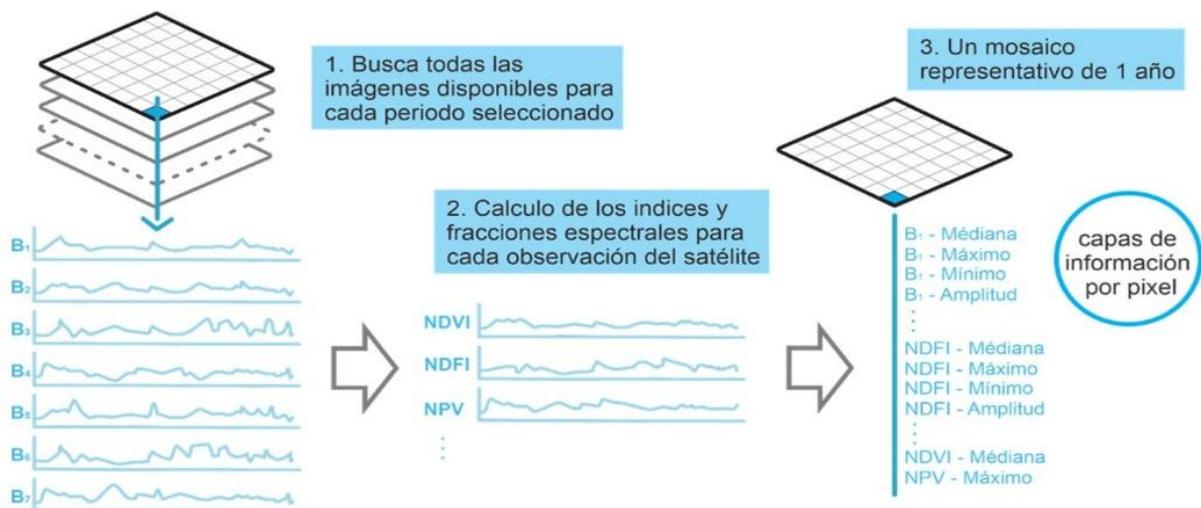
Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor <sup>6</sup>											Banda de Calidad <sup>7</sup>			
				Median	Median_dry	Median_wet	Amp	stdDev	Min	Max	Dry_min	Dry_max	Wet_min	Wet_max	Dry_qmo	Wet_qmo		
Banda	blue	B1 (L5 y L7); B2 (L8 y L9)	Espectro visible azul	X														
	green	B2 (L5 e L7); B3 (L8 y L9)	Espectro visible verde	X	X					X				X			X	X
	red	B3 (L5 y L7); B4 (L8 y L9)	Espectro visible rojo	X	X	X				X			X	X		X	X	
	nir	B4 (L5 e L7); B5 (L8 y L9)	Infrarrojo cercano	X	X	X			X	X							X	X
	swir1	B5 (L5 e L7); B6 (L8 y L9)	Infrarrojo de onda corta 1	X	X	X				X			X	X	X	X	X	X
	swir2	B7 (L5); B8 (L7); B7 (L8 y L9)	Infrarrojo de onda corta 2	X	X	X				X			X		X	X	X	X
Índices	ndvi	$(nir - red) / (nir + red)$	Índice de vegetación de diferencia normalizada	X	X	X	X	X										
	evi2	$(2.5 * (nir - red) / (nir + 2.4 * red + 1))$	Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que solo utiliza NIR y Red, obviando la banda azul.	X	X	X	X	X										
	ndwi_gao	$(nir - swir) / (nir + swir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	X	X	X	X					X		X	X			X
	ndwi_mcfeters	$(green - nir) / (green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeters)	X				X										
	gcvi	$(nir / green) - 1$	Relaciones entre bandas infrarrojo cercano y verde	X	X	X												
	hallcover	$(-red * 0.017) - (nir * 0.007) - (swir2 * 0.079) + 5.22$	Índice espectral de cubierta terrestre	X														
	pri	$(blue - green) / (blue + green)$	Índice de reflectancia fotoquímica ( <i>Photochemical Reflectance Index</i> )	X	X													
	savi	$(1+L) * (nir - red) / (nir + red + 0,5)$	Índice de vegetación ajustada al suelo	X	X	X			X									
textG	$(\text{'median\_green'}.entropy(ee.Kernel.square({radius: 5})))$	Entropía en la banda Azul	X															

<sup>6</sup> Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

<sup>7</sup> Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.



Índice MME	gvs	$gv / (gv + npv + soil + cloud)$	Vegetación verde normalizada por sombra	X	X	X		X
	ndfi	$(gvs - (npv + soil)) / (gvs + (npv + soil))$	Índice de fracción de diferencia normalizada	X	X	X	X	X
	sefi	$(gv+npv -soil) / (gv+npv + soil)$	Índice de fracción del ecosistema de sabana	X	X			X
	wefi	$((gv+npv)-(soil+shade)) / ((gv+npv)+(soil+shade))$	Índice de fracciones del ecosistema de humedales			X	X	X
	fns	$((gv+shade) - soil) / ((gv+shade) + soil)$	Índice basado en fracciones gv, shade y soil		X			X
	ndfib	$GV - (NPV+Soil+Snow) / (GV+(NPV+Soil+Snow))$	Adaptación del NDFI para los Andes	X				X
Variables estáticas y/o topográficas	shademask2		Mapa de sombras					
	slppost		Pendiente Estratificada					
	altitude		Altitud					
	slope		Pendiente					
	latitude		Latitud					
	longitude		Longitud					
	HAND (Height Above the Nearest Drainage)	hand30_100 hand30_1000 hand30_5000 hand90_1000 water_HAND_0m water_HAND_10m water_HAND_1m water_HAND_2m water_HAND_5m	Índice- Altura por encima del drenaje más cercano					



**Figura 8.** Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.

### 3.3 Clasificación

#### 3.3.1 Leyenda

El esquema de clasificación de MapBiomias es un sistema jerárquico con una combinación de clases de cobertura y uso de suelo. En la colección MapBiomias Bolivia Colección 3 se mapearon 23 clases, las cuales pertenecen a 6 ámbitos (nivel 1): Formación boscosa, Herbazal y arbustal, Área agropecuaria, Área sin vegetación, Cuerpo de agua y No observado. Cada bioma varía el número de clases según su presencia o ausencia de las clases definidas dentro de su área.

**Tabla 6.** Leyenda de MapBiomias Bolivia Colección 3

Clase	Natural/ Antrópico	Bioma	ID	Código hexagesimal	Co lor
<b>1. Formación boscosa</b>			<b>1</b>	<b>#1f8d49</b>	
1.1. Bosque	Natural	Todos	3	#1f8d49	
1.2. Bosque abierto	Natural	Amazonía y Chiquitano	4	#7dc975	
1.3. Bosque inundable	Natural	Amazonía, Chaco, Chiquitano y Pantanal	6	#026975	
<b>2. Herbazal y arbustal</b>			<b>10</b>	<b>#d6bc74</b>	
2.1. Herbazal/arbustal inundable	Natural	Todos	11	#519799	
2.2. Herbazal/arbustal	Natural	Todos	12	#d6bc74	
2.3. Afloramiento rocoso	Natural	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	29	#ffaa5f	
2.4. Matorral	Natural	Amazonía, Andes, Valles y Tucumano-Boliviano	66	#a89358	
2.5. Pajonal y arbustal andino	Natural	Amazonía, Andes, Valles y Tucumano- Boliviano	81	#c8c099	

2.6. Pajonal y arbustal andino inundable	Natural	Amazonía, Andes y Valles	82	#66b2a3	
2.7. Otra formación natural no forestal	Natural	Todos	13	#d89f5c	
<b>3. Agropecuario</b>			<b>14</b>	<b>#ffefc3</b>	
3.1. Pastura	Antrópico	Todos	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	Antrópico	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	18	#e974ed	
3.2.1. Soya	Antrópico	Amazonía, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano y Pantanal	39	#f5b3c8	
3.2.2. Otros cultivos	Antrópico	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	72	#c1799c	
3.3. Mosaico de usos	Antrópico	Todos	21	#ffefc3	
<b>4. Área sin vegetación</b>			<b>22</b>	<b>#d4271e</b>	
4.1. Playa, duna o banco de arena	Natural	Todos	23	#ffa07a	
4.2. Infraestructura urbana	Antrópico	Todos	24	#d4271e	
4.3. Minería	Antrópico	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Pantanal	30	#9c0027	
4.4. Salar	Natural	Andes	61	#f5d5d5	
4.5. Otra área natural sin vegetación	Natural	Todos	68	#e97a7a	
4.6. Otra área antrópica sin vegetación	Antrópico	Todos	25	#db4d4f	
<b>5. Cuerpo de agua</b>			<b>26</b>	<b>#2532e4</b>	
5.1. Río, lago	Natural	Todos	33	#2532e4	
5.2. Acuicultura	Antrópico	Amazonía, Chaco y Chiquitano	31	#091077	
5.3. Glaciar	Natural	Andes	34	#93dfe6	
<b>6. No observado</b>			<b>27</b>	<b>#ffffff</b>	

**Note.** La Tabla 6, muestra 6 columnas, la tercera señala en qué bioma está presente la clase, la cuarta columna es el número con el que identificas la clase.

**Tabla 7.** Descripción de la Leyenda de MapBiomas Bolivia Colección 3

MapBioma Clase (ID)	Bioma	Descripción de la vegetación
Bosque (ID:3)	Amazonia	<p>En la región <b>Amazonía Alta</b>, corresponde a una formación vegetal caracterizada por fisionomías boscosas y siempreverde, que se distribuyen generalmente por encima de 1.100 m de altitud, ocupando principalmente la porción oriental de los Andes tropicales. Incluye también los bosques yungueños.</p> <p>En la región de la <b>Amazonía Baja</b>, está conformado principalmente por bosque húmedo casi siempreverde (30-45m), siempreverde (30-35m), bosques siempreverdes en transición hacia bosques semidecuidos estacionales del Bosque Seco Chiquitano (&gt;25 (30) m), bosque de galería e Islas de bosque.</p>
	Andes	<p>Compuesto por árboles siempreverdes estacionales (<i>Polylepis altimontano</i>) ubicados en la zona de transición de Tucumano-Boliviano a Andes. En su mayoría son árboles de 5 a 10 metros de altura. Bosques de <i>Polylepis altimontanos</i> siempreverdes estacionales, distribuidos entre los 3.200-3.900 m de altitud, llegando a los 5.000 m como la especie <i>P. tarapacana</i>.</p>
	Valles	<p>Bosques secos interandinos y bosques de <i>Polylepis</i>. Los primeros se distribuyen hasta los 3.200 m de altitud, ocupando valles y partes bajas de laderas. Incluyen bosques bajos, deciduos y espinosos, con dosel arbóreo arbustivo de 3 a 5 m de altura; y bosques semidecuidos, con dosel arbóreo de 10 a 15 m. Por otro lado, los bosques de <i>Polylepis (kewiñales)</i>, son dominados por diversas especies de este género que están por encima de los 3.000 m.</p>
	Tucumano-Boliviano	<p>Bosques que cambian en estructura, composición y periodicidad según su distribución altitudinal en los andes tropicales (entre los 800 y 3.500 m.s.n.m.). Generalmente, por debajo de 2.000 m de altitud es de tipo semidecuido, con dosel arbóreo distribuido entre 15 y 20 m de altura, y</p>

		árboles emergentes que alcanzan poco más de 25 m. Por encima de los 2.000 m de altitud los bosques son húmedos y siempreverdes, gracias a los vientos alisios. Los árboles conforman un dosel distribuido entre los 20 y 25 m de altura, con emergentes que alcanzan hasta 30 m.
	Chaco	El bosque chaqueño se distribuye en la sur del país y es generalmente deciduo, microfoliado y espinoso. Posee un dosel arbóreo arbustivo de entre 3 a 5 m de altura, con emergentes que llegan a sobrepasar los 10 m, siendo frecuente la presencia de cactus columnares. El bosque chaqueño se desarrolla sobre sedimentos de origen reciente en suelos rojos bien drenados con afloramiento rocoso, caracterizado por árboles de madera dura, cuyas hojas se desprenden durante la estación seca.
	Chiquitano	Los bosques en este bioma se caracterizan por la presencia de numerosas plantas suculentas, en su mayoría espinosas, el dosel es continuo y bajo con especies emergentes aisladas, cuya composición florística y estructura varía según las condiciones edáficas y topográficas. El Bosque medianamente alto semideciduo con árboles de entre 15-25 m de altura, que forman un mosaico complejo con otras ecorregiones como el Cerrado y las Sabanas Inundables.
	Pantanal	Presenta bosques de media a baja altura (6-10 m) acompañados de chaparrales que pueden ser semidensos a abiertos, se encuentran en áreas de baja inundación. Se caracterizan por ser pluviestacionales semideciduos. En esta clase se incluye: Palmar-Tajibal, de diferentes tipos de Palma; Paratodal anegable y bosque ribereño inundable.
Bosque abierto	Amazonía y Chiquitano	Áreas con vegetación natural formada por árboles, arbustos o una mezcla de ambos, con una cobertura entre 20 y 65%.
Bosque inundable (ID:6)	Amazonía	Bosques amazónicos de inundación, bosques de várzea y con una comunidad de plantas que por lo regular se inundan durante aproximadamente dos meses al año y bosques de igapó que se inundan por períodos de cinco a seis meses. Bosque Amazónico de inundación, bosques de várzea (inundados por aguas blancas, ricas en sedimentos y

		minerales) y bosques de igapó (inundados por aguas negras, ricas en materia orgánica).
	Chaco	Bosque chaqueños que suelen inundarse se encuentran a lo largo de los ríos, en la llanura Chaqueña en el paisaje de bajada y las llanuras aluviales (antigua, del Parapetí y de inundación), los suelos son profundos, moderados y bien desarrollados.
	Chiquitano	Se desarrolla en el lecho fluvial y llanura de inundación de arroyos estacionales en la zona de transición entre el noreste del Chaco y la Chiquitania y Bosque anegable estacionalmente por aguas estancadas de la transición Chaco-Chiquitania. Bosque bajo, con dosel denso de 6-8 m. de altura, y emergentes de 10-12 m, que se desarrolla en las depresiones someras.
	Pantanal	El bosque inundable del Pantanal boliviano está compuesto por especies adaptadas a largos períodos de inundación estacional. Este ecosistema es fundamental para la regulación hídrica, el mantenimiento de la biodiversidad. La dinámica de inundación favorece procesos ecológicos esenciales como la dispersión de semillas.
Herbazal/arbustal inundable (ID:11)	Amazonía	Cobertura vegetal ubicada en la llanura aluvial inundable, como herbazales y sabanas hidrofíticas, los cuales se inundan por un largo periodo del año. Se desarrolla sobre suelos arcillosos o limosos, con mal drenaje estacionalmente inundados en valles fluviales, los cuales se inundan por un largo periodo del año.
	Andes, Valles	Áreas con presencia de bofedales planos y/o almohadillados de la puna húmeda, pluviestacionales localizados cerca de cuerpos de agua. Vegetación acuática en aguas poco profundas.
	Tucumano-Boliviano	En algunas regiones, la humedad del suelo permite a los agricultores construir atajados para captar agua.
	Chaco	Las inundaciones no son muy frecuentes, ocurren cada ocho o diez años. Las zonas más afectadas son las que están ubicadas en los paisajes de pie de monte, de bajada y las laderas de los ríos.

	Chiquitano	Vegetación de sabanas hidrofíticas con montículos, desarrollada sobre suelos mal drenados y estacionalmente inundables en llanuras y valles de la Chiquitanía meridional y oriental Cerrado en la Chiquitanía (Pampas-termitero, que se inundan temporalmente en grado variable según la topografía.
	Pantanal	Vegetación herbácea con predominio de gramíneas sujetas a inundaciones permanentes o temporales (al menos una vez al año) según los pulsos naturales de inundación. Las áreas pantanosas generalmente ocurren en los márgenes de lagos temporales o permanentes ocupados por plantas acuáticas emergentes, sumergidas o flotantes (por ejemplo, curichis y pantanos). Área de inundación frecuente y estacional (3-4 meses). Además, incluye en menor proporción: sabanas herbáceas, totorales, arrozales, matorrales, patujusales pantanosos, junquillares.
Herbazal/arbustal (ID:12)	Amazonía	Sabanas con gramíneas, ciperáceas y arbustos dispersos, sabanas de tipo cerrado con pajonales altos y en las cimas de las serranías en zonas con suelos poco profundos. Están presentes en zonas por encima de los >3.000 m.s.n.m. Aparecen en zonas con suelos poco profundos (cimas de serranías).
	Andes, Valles	Áreas con vegetación arbustal subhúmedo montano y herbazal presentes mayor al 65% y de manera dispersa tholares y matorrales.
	Tucumano-Boliviano	Presencia de comunidades mixtas de pajonal con presencia dispersa a densa de especies leñosas de matorrales altimontanos y altoandinos Boliviano-Tucumanos distribuidos en las serranías tucumanas. En afloramientos rocosos o laderas abruptas se desarrolla vegetación saxícola (helechos, xeromórficos, bromelias y cactáceas).
	Chaco	Se desarrolla en formaciones vegetales de climas extremadamente xéricos denominados sabana y que presentan elementos arbustivos y arbóreos que no se desarrollan, sobre una capa continua de hierbas y/o están dominadas por gramíneas.

	Chiquitano	Compuesta principalmente por especies herbáceas y sabanas arbustivas abiertas. El estrato gramíneo-herbáceo forma una capa continua que generalmente no supera los 1 m de altura. Chaparrales esclerófilos y sabanas arboladas de la Chiquitania sobre suelos bien drenados.
	Pantanal	Vegetación con predominio de estratos herbáceos, con presencia de arbustos aislados y árboles leñosos raquíuticos. La composición botánica está influenciada por gradientes edáficos y topográficos. Presenta sabanas herbáceas que incluye a las Pampas de tacuarilla y Cola de ciervo, acompañadas de vegetación herbácea (gramíneas).
Afloramiento Rocosos (ID 29)	Amazonía	Existen afloraciones rocosas que corresponde al Paleozoico, normalmente esta clase presenta roca consolidada, afloramientos y sedimentos rocosos arrastrados principalmente por el hielo.
	Andes, Valles	Áreas formadas por rocas expuestas con poca o nula vegetación que pueden ser saxícola y/o rupícola. Se localiza en áreas con pendientes.
	Chaco	Son áreas expuestas de roca sedimentaria que influyen en el paisaje, la hidrología y la biodiversidad. Representan zonas con baja capacidad agrícola y sirven como refugio para especies adaptadas a ambientes áridos.
	Chiquitano	Presenta superficies con afloramiento rocoso o laderas abruptas muy pedregosas. El terreno ondulado y muy erosionado (Serranía de Santiago de Chiquitos).
	Tucumano-Boliviano	Áreas con poca o nula vegetación, presente en terreno ondulado y fuertemente erosionado; formado a partir de diversas rocas graníticas y metamórficas. Puede incluir roca expuesta.
Matorral (ID 66)	Amazonía	Áreas conformadas por varias comunidades de arbustales bajos (tholares) abiertos y/o semicerrados; que alcanzan una altura entre 1-1,5m. Se desarrollan en superficies de piedemonte, topografías planas y/o terrazas fluviales.
	Andes	Matorrales altoandinos con arbustos resistentes que protegen el suelo y conservan biodiversidad en zonas áridas y frías por encima de 3.000 m.s.n.m.

	Valles	En los valles interandinos, los matorrales se desarrollan entre 1.800 y 3.200 m s.n.m. en zonas semiáridas, con suelos erosionados y vegetación de arbustos bajos adaptados a climas secos y extremos
	Tucumano-Boliviano	En estas regiones, los matorrales dominan con arbustos bajos como Baccharis, Parastrephia y Acantholippia, coexistiendo con cardonales de cactáceas columnares típicas del altiplano seco y zonas intermedias de Chuquisaca, Potosí y Tarija
Pajonal y arbustal andino (ID 81)	Andes, Amazonía, Valles y Tucumano-Boliviano	Los pajonales y arbustales andinos son coberturas vegetales típicas de las zonas altoandinas que generalmente se encuentran por encima de la línea de bosques y la transición entre ambas coberturas depende de las condiciones locales. Suele estar conformado por diversidad de formas de crecimiento.
	Andes	Pajonales altoandinos de la Puna húmeda distribuidos en diferentes tipos de suelos desde húmedos a erosionados. Se presenta en zonas >3.000 m.s.n.m. En la zona sur pajonales y matorrales altoandinos de la Puna Xerofítica sur. Áreas con pajonales con pastoreo de camélidos.
Pajonal y arbustal andino inundable (ID 82)	Amazonía, Valles y Tucumano-Boliviano	Bofedal altoandino de la Puna Xerofítica. Se localizan en las depresiones topográficas, cerca de cuerpos de agua o de fenómenos de deshielo, típico de las altas montañas tropicales. Su forma es plana o en forma de cojines almohadillados, se presenta a una altura >3.000 m.s.n.m.
	Andes	El bofedal altoandino de la Puna Xerofítica se encuentra en depresiones topográficas y zonas cercanas a cuerpos de agua o deshielos, típicos de altas montañas tropicales. Tiene forma plana o de cojines almohadillados y se ubica por encima de los 3.000 m.s.n.m
Otra formación natural no forestal (ID:13)	Amazonía	Arbustales, chaparrales presentes en la región de Amazonía alta, con varios pisos altitudinales y diferentes tipos de vegetación siempreverde, generalmente <3.000 m.s.n.m.
	Andes	En esta región la fisionomía dominante corresponde a matorrales o arbustos los cuales crecen generalmente por debajo de los 3.000 m de altitud. Matorrales y pajonales altimontanos de la Puna y Altiplano

		xerofíticos sobre suelos bien drenados con barbechos y prados extensos. Constituido principalmente por matorrales xeromórficos con gramíneas y cactáceas.
	Valles	Áreas conformadas por varias comunidades de arbustales bajos, chaparrales cerrados y dispersos.
	Tucumano-boliviano	Presenta vegetación mixta de pajonal con presencia de matorrales o arbustos pequeños y vegetación saxícola altimontana. Se encuentran distribuidas por encima de los 2.800 - 3.000 m en las cimas de las serranías Boliviano-Tucumano y/o zonas con suelos poco profundos.
	Chaco	Está conformado por chaparrales en suelos muy arenosos, donde las arenas han cubierto el suelo con sedimentos limosos y arcillosos, depositados en las viejas llanuras aluviales. Sabanas arboladas de los arenales del chaco.
	Chiquitano y Pantanal	Están conformados florísticamente por los chaparrales del Abayoy que, en su mayoría comprende elementos amplios del Cerrado, seguido de algunos componentes florísticos del Gran Chaco, caracterizados por sus suelos arenosos. Además, presenta arbustales, matorrales y bosques bajos con frecuentes bromeliáceas espinosas, cactáceas y helechos xeromórficos.
Mosaico de usos (ID:21)	Amazonía	Actividad agrícola a pequeña escala en las zonas más altas y mecanizada en las zonas bajas. Actividad ganadera rotación de ganado y pasturas cultivadas.
	Andes	Área de ganadería de ovinos, camélidos y pocos vacunos, casualmente cultivos de hortalizas, papa, maíz, alfalfa, cebada, oca, haba, quinua, avena, trigo, entre otros.
	Valles, Tucumano-Boliviano	Ganadería de ramoneo, extracción selectiva de especies con valor forestal, y actividades agrícolas a pequeña escala. Cultivos de maíz, trigo, soya y hortalizas.

	Chaco	Se practica la siembra escalonada en sus cultivos de maíz, seguido de trigo y soya tanto en la temporada de invierno y verano. Ganadería semi-intensiva y extensiva de base comunitaria.
	Chiquitano	Ganadería intensiva Chiquitana. Cultivos de verano mayormente soja y en invierno girasol, maíz, trigo, arroz, chíá, yuca, entre otros.
	Pantanal	Actividad agrícola y ganadera en su mayoría.
Pastura (ID:15)	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano y Pantanal	Actividad que se practica en pastizales naturales y pastos cultivados perennes que mantienen el suelo cubierto todo el año. En la Puna Andina (>4.000 msnm), se usan prácticas ancestrales para ovinos, caprinos y vacunos, con rotación de pastoreo según altitud y estación. En el Chaco, se implementa ganadería comunitaria sostenible con manejo semi-intensivo y construcción de atajados para asegurar agua. En el Bioma Chiquitano, la ganadería es semi-extensiva, con predominancia de pasturas sembradas y rotación por escasez de agua, siendo una zona clave para la producción de carne. Las pasturas cultivadas (brachiarias, festuca, raigras, etc) y naturales, para alimento de ganado.
Agricultura (ID:18)	Amazonía, Chaco, Chiquitano	Agricultura extensiva y en menor proporción a mediana escala.
	Andes, Valles y Tucumano-Boliviano	Agricultura a pequeña escala por su situación geográfica.
Soya (ID: 39)	Amazonía, Chiquitano y Pantanal	La soya es una de las principales actividades agroproductivas en Bolivia, especialmente en la Amazonía, favorecida por suelos fértiles y clima cálido. La producción es mecanizada y tecnificada, con siembra directa y rotación de cultivos. La campaña principal es en verano, complementada por una campaña de invierno para producción de semilla.
	Tucumano-Boliviano y Chaco	La producción de soya está en crecimiento en las zonas de transición entre los valles interandinos y las tierras bajas del sur (Tarija, Chuquisaca y sur de Santa Cruz). A pesar de contar con suelos frágiles, pendientes moderadas y condiciones agroecológicas desafiantes como lluvias irregulares y riesgo de erosión, la soya se incorpora en sistemas de rotación con maíz o sorgo.

Otros cultivos (ID 72)	Amazonía, Andes	Áreas agrícolas donde la vegetación original ha sido reemplazada por cultivos anuales, temporales y perennes, destinados principalmente al consumo interno
	Valles, Tucumano-Boliviano	Se desarrolla mediante sistemas agroforestales con cultivos como uva, durazno y manzana, combinados con prácticas tradicionales orientadas al autoconsumo (haba, arveja, maíz, hortalizas) y a la comercialización de tubérculos, cereales y frutales, bajo riego o seco.
	Chaco, Chiquitano	Se cultivan maíz, kumanda, maní y hortalizas con prácticas sostenibles. La expansión agrícola ha sido notable, con soya en verano y girasol, sorgo, trigo y otros cultivos en invierno, en un contexto de deforestación y aumento de áreas quemadas.
Mosaico de usos (ID:21)	Amazonía	Actividad agrícola a pequeña escala en las zonas más altas y mecanizada en las zonas bajas. Actividad ganadera rotación de ganado y pasturas cultivadas.
	Andes	Área de ganadería de ovinos, camélidos y pocos vacunos, casualmente cultivos de hortalizas, papa, maíz, alfalfa, cebada, oca, haba, quinua, avena, trigo, entre otros.
	Valles, Tucumano-Boliviano	Ganadería de ramoneo, extracción selectiva de especies con valor forestal, y actividades agrícolas a pequeña escala. Cultivos de maíz, trigo, soya y hortalizas.
	Chaco	Se practica la siembra escalonada en sus cultivos de maíz, seguido de trigo y soya tanto en la temporada de invierno y verano. Ganadería semi-intensiva y extensiva de base comunitaria.
	Chiquitano	Ganadería intensiva Chiquitana. Cultivos de verano mayormente soja y en invierno girasol, maíz, trigo, arroz, chí, yuca, entre otros.
	Pantanal	Actividad agrícola y ganadera en su mayoría.
Playa, duna o banco de arena (ID: 23)	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	Estas regiones se caracterizan por poseer obstrucción periódica del desagüe fluvial por los sedimentos del propio río. Además, estacionalmente los cauces de los ríos secundarios se secan formando bancos de arena.

<b>Infraestructura urbana (ID:24)</b>	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-boliviano	Área cubierta por infraestructura urbana, con asentamientos humanos mayores a 1.000 habitantes.
<b>Minería (ID:30)</b>	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-boliviano	La minera presente en la explotación subterránea y/o a cielo abierto, se caracteriza porque el mineral extraído en ambos casos es llevado a plantas de tratamiento o concentración, también se emplean medios mecánicos o explosivos para remover los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma al yacimiento, o banco de materiales.
<b>Salar (ID:61)</b>	Andes	Desierto de sal a una altura de 3650 m.s.n.m. Se destaca el Salar de Uyuni y Coipasa.
<b>Otra área natural sin vegetación (ID 68)</b>	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano	En la zona amazónica suele encontrarse en las laderas bajas y suaves con algún tipo de erosión o deslizamiento; en las mesetas generalmente con superficies reducidas con campo rupestre, también, se distinguen en los acantilados, torres de roca. Sus suelos son superficiales y poseen poca materia orgánica, son pobres en nutrientes. En el Bioma Andes, Valles y Tucumano-Boliviano se muestran en superficies compuestas de suelo salino o arcillosas finalmente, dentro de estos biomas se encuentra en los sedimentos de los cuerpos de agua.
<b>Otra área antrópica sin vegetación (ID:25)</b>	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano	Áreas con poca o nula vegetación, pueden ser de origen natural o antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos, caminos y carreteras, pistas de aterrizaje, patios industriales, y zonas de reciente deforestación.
<b>Río o lago (ID: 33)</b>	Amazonía	Ríos caudalosos, anchos, lagunas
	Andes, Valles	A pesar de las condiciones climáticas adversas, la región muestra cuerpos de agua superficiales como ser: ríos de bajo caudal, en forma de hileras, lagunas, lagos dulces, y salados.

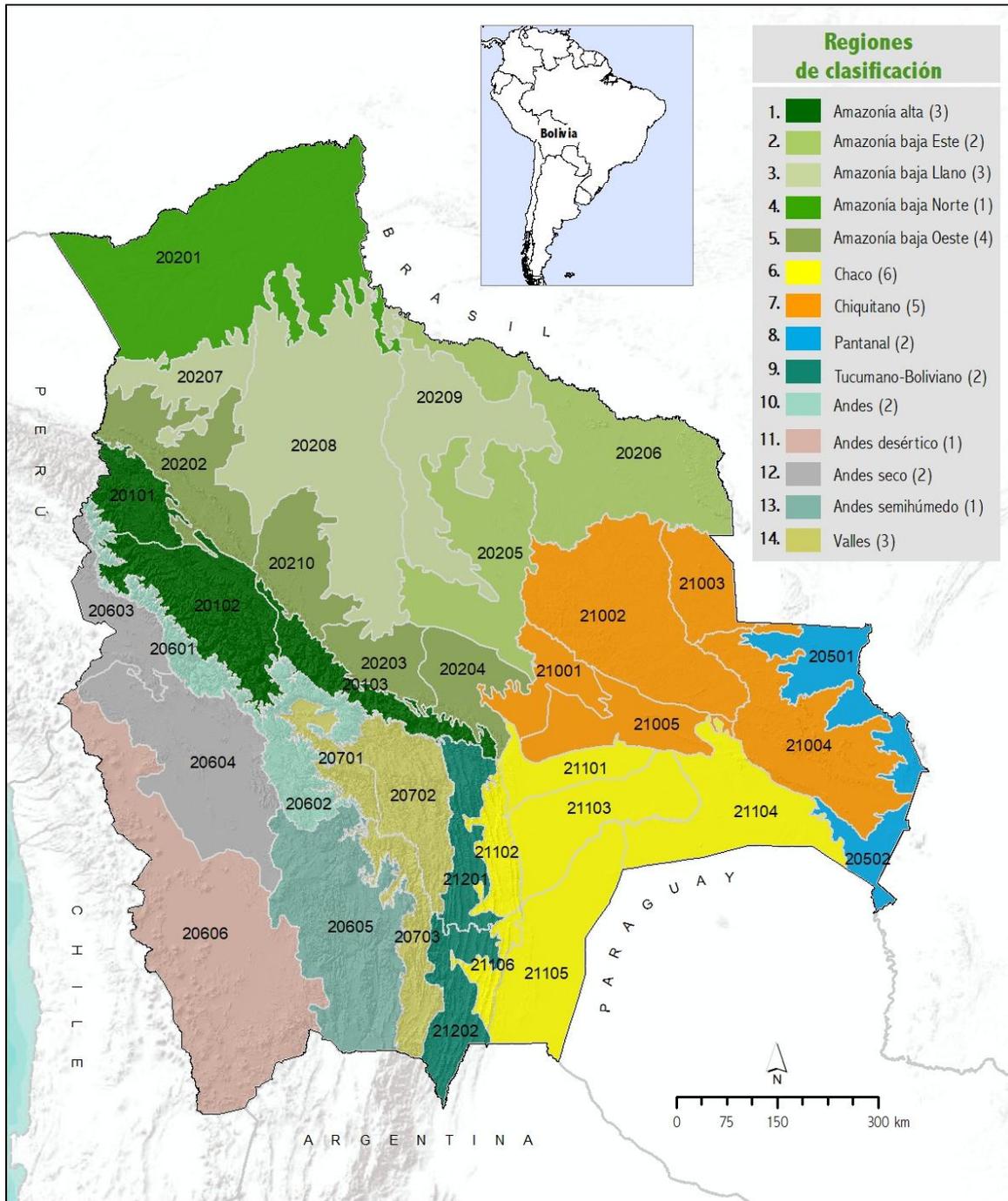
	Chaco	Ríos estacionalmente secos
	Chiquitano	Ríos permanentes y laguna perenne
	Tucumano-Boliviano	Áreas de recarga de aguas subterráneas
	Pantanal	Áreas planas extensas de inundación y suelos aluviales.
Acuicultura (ID 31)	Amazonía, Chiquitano, Chaco	Se centra en la cría de especies nativas como pacú, surubí y cachama, que tienen alta demanda tanto local como regional. Esta actividad contribuye a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de las comunidades, con prácticas que buscan minimizar el impacto ambiental.
Glaciar (ID:34)	Andes	Área de cobertura o masa de hielo permanente, localizados en las cumbres andinas, producto de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve.

### 3.3.2 Regiones de clasificación

Para facilitar el mapeo de la diversidad de paisajes en Bolivia, se definieron 37 regiones operativas de clasificación, trabajadas de forma independiente para cada año de la serie temporal. Estas regiones se basaron en las subregiones del mapa de Ecorregiones de Bolivia (Ibisch, 2003).

**Tabla 8.** Regiones de clasificación de MapBiomias Bolivia

<b>Región de clasificación</b>	<b>Código de las regiones operativas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Amazonía alta</b>	20101 20102 20103	Yungas: Bosques andinos perhúmedos.
<b>Amazonía baja Norte</b>	20201	Bosques Amazónicos de Pando Bosques Amazónicos de inundación
<b>Amazonía baja Oeste</b>	20202 20203 20204 20210	Bosques Amazónicos Subandinos Bosques Amazónicos Preandinos
<b>Amazonía baja Este</b>	20205 20206	Bosques Amazónicos de Beni y Santa Cruz
<b>Amazonía baja Llano</b>	20207 20208 20209	Cerrado Paceño Cerrado Beniano Sabanas Inundables de los Llanos de Moxos
<b>Andes</b>	20601  20602 20603 20604 20605 20606	Vegetación Altoandina de la Cordillera Oriental con pisos nivales y subnivales Puna Semihúmeda Bosques Secos Interandinos Puna seca Puna desértica. Puna semi húmeda
<b>Valles</b>	20701 20702 20703	Bosques de Polylepis altimontanos siempreverdes estacionales.
<b>Chiquitano</b>	21001 21002 21003 21004	Bosque Seco Chiquitano Cerrado Chiquitano Sabanas Inundables
<b>Chaco</b>	21101 21102 21103 21104 21105 21106	Gran Chaco: Los bosques varían según la humedad y suelos drenados o no.
<b>Tucumano-Boliviano</b>	21201 21202	Bosque Tucumano-Boliviano Chaco Serrano
<b>Pantanal</b>	20501 20502	Sabanas inundables del Pantanal



**Figura 9. Regiones operativas de clasificación.**

### 3.3.3 Colecta de muestra

El proceso de clasificación parte de la toma de muestras de entrenamiento. Para ello, se identificaron y seleccionaron únicamente aquellos píxeles que mantuvieron de modo estable (que no cambiaron) la misma clase a lo largo de todos los años de la serie temporal (entre 1985 y 2024). Sobre esta capa se sortearon puntos aleatorios balanceados según la extensión de cada clase. Los valores de cada ubicación sirvieron de insumo para entrenar el clasificador Random Forest.

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

### 3.3.4 *Random Forest*

Random forest<sup>9</sup> es un método de clasificación que utiliza un algoritmo de aprendizaje de máquina (machine learning) y que reporta valores elevados de precisión, inclusive frente a escenarios complejos por su heterogeneidad. La base conceptual de Random Forest se basa en lo que Tumer y Ghosh (1996) encontraron al demostrar que el producto resultante de la combinación de múltiples clasificadores alcanza precisiones elevadas. Random Forest utiliza datos de entrenamiento para construir múltiples árboles de decisión a partir de los cuales se asigna una clase a cada píxel. Random Forest ha ganado importancia en los últimos años, debido a su robustez frente a ruidos y valores atípicos.

El algoritmo Random Forest forma parte del paquete de clasificadores de machine learning disponibles en la plataforma EE de Google. La metodología aplica un criterio de clasificación basado en píxeles.

Uno de los parámetros que Random Forest requiere es un número definido de árboles. Además, de una lista de variables (ver sección “Variables de clasificación”), y contar con datos de entrenamiento (ver sección “Colecta espectral”). Para la Colección 3 de MapBiomás Bolivia, el número de árboles varió según las necesidades y características de cada región de clasificación.

### 3.3.5 *Temas transversales*

En casos particulares, se detectaron limitaciones en la diferenciación de clases específicas que motivaron la decisión de mapearlas por separado, las cuales fueron:

- Bosque inundable (ID = 6);
- Herbazal y Arbustal Inundable (ID = 11);
- Pajonal y arbustal andino inundable (ID = 82);
- Minería (ID = 30);
- Glaciar (ID = 34);
- Pastura (ID = 15);
- Afloramiento rocoso (ID = 29);
- Matorral (ID = 66);
- Playa, duna o banco de arena (ID = 23);
- Agricultura (ID = 18);
- Soya (ID = 39) *Beta (2021-2024)*
- Infraestructura urbana (ID = 24); y
- Agua (ID = 33)

---

<sup>9</sup> Leo Breiman, “Random Forests,” *Machine Learning* 45, no. 1 (October 1, 2001): 5–32, <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

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” (Figura 10).

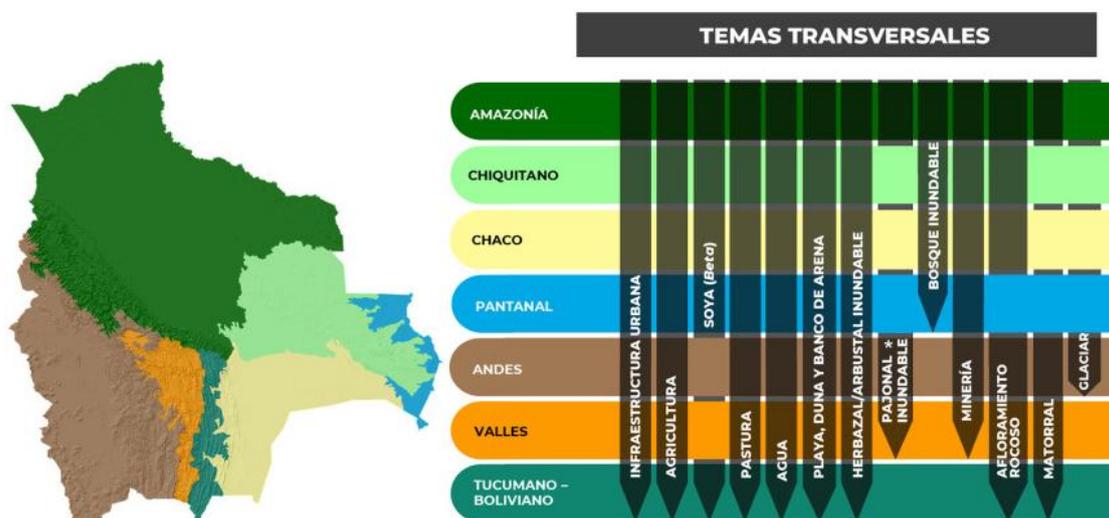


Figura 10. Temas transversales para MapBiomos Bolivia Colección 3.

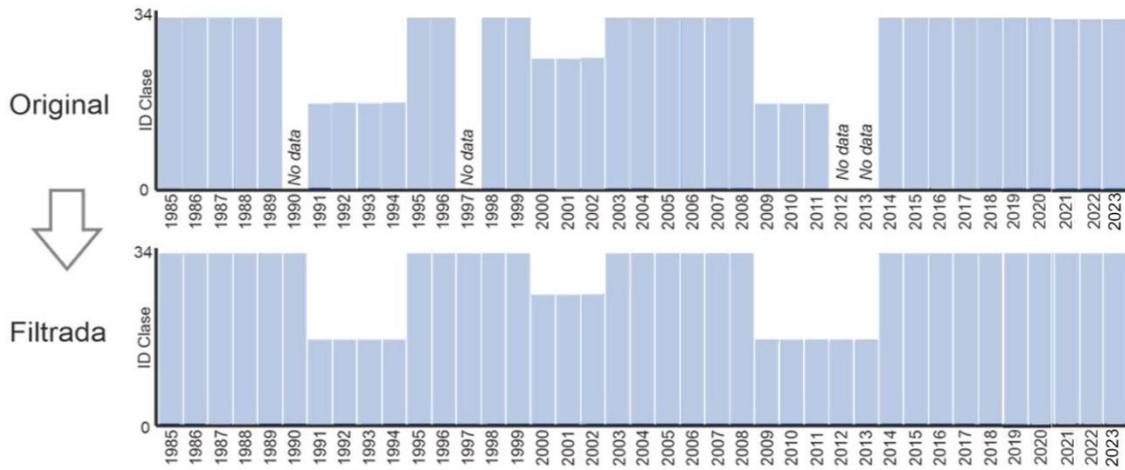
### 3.4 Post clasificación

Después de realizar las clasificaciones para los 40 años, fue necesario aplicar una secuencia de filtros para reducir inconsistencias temporales, ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo<sup>10</sup> (aproximadamente media hectárea = 5 píxeles) y llenar vacíos de información obteniendo una mejor clasificación. El proceso de post clasificación incluye un filtro de relleno de vacíos (Gap-fill), filtro temporal, un filtro espacial, y filtros de frecuencia. Todos ellos fueron implementados desde la plataforma de Google Earth Engine, empleando scripts escritos en JavaScript. A continuación, se muestra una descripción de cada filtro.

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

El filtro de Gap fill se utiliza para rellenar vacíos de información que presentan los mosaicos debido a sus condiciones atmosféricas y climáticas en algunas regiones del País. El algoritmo identifica píxeles donde no existe información de la serie temporal y rellena estos espacios vacíos con datos de los anteriores 3 años, como se ilustra en la Figura 11.

<sup>10</sup> 5 píxeles = aproximadamente media hectárea.

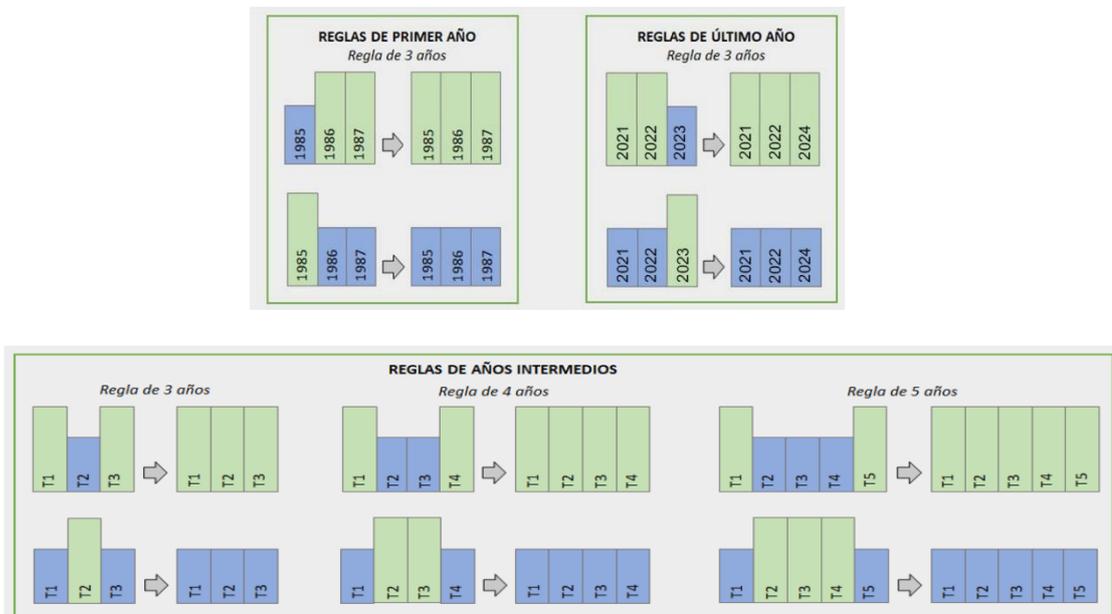


**Figura 11. Funcionalidad del filtro de Cap Fill**

### 3.4.2 Filtro Temporal

Las reglas están categorizadas en 3 grupos:

1. *Reglas generales (RG)*, buscan corregir el dato del año central (T), a partir de los datos correspondientes a los años anteriores (T-1, T-2) y posteriores (T+1, T+2);
2. *Reglas de primer año (RP)*, actualizan el valor del primer año (1985), con base en los valores de los siguientes dos años (T+1, T+2); y
3. *Reglas de último año (RU)*, buscan actualizar el valor del último año (2024) en base a los valores de los dos años anteriores (T-1, T-2) (Figura 12).



**Figura 12. Funcionalidad del filtro temporal**

### 3.4.3 Filtro Espacial

Con el filtro espacial se pretende eliminar los píxeles aislados o de borde. Se definen reglas de vecindad que pueden llevar a cambiar la clasificación del píxel. La Colección 3 MapBiomás Bolivia, tiene dos tamaños (kernel 3 y kernel 5) de filtro espacial; en Bolivia se utilizó el tamaño de kernel 3 (Figura 13).

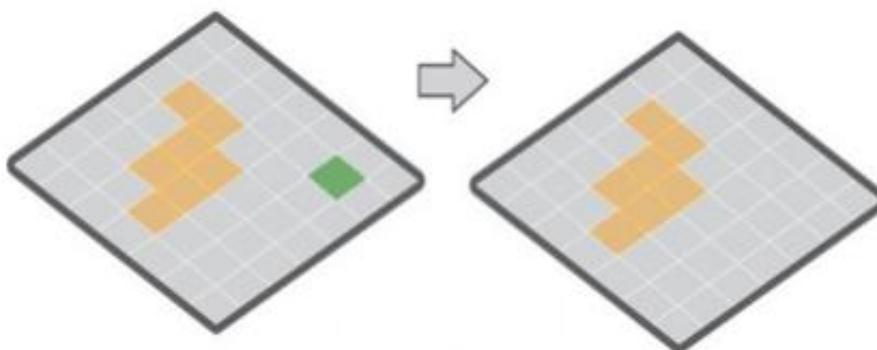


Figura 13. Funcionalidad del filtro espacial

### 3.4.4 Filtro de frecuencia

Este filtro toma en cuenta la frecuencia de ocurrencia de las clases naturales en toda la serie temporal. Por lo tanto, todos los porcentajes menores de ocurrencia del dato se reemplazan por el que cumple el mínimo de frecuencia. Este mecanismo contribuye a reducir la oscilación temporal asociada a una clase dada, disminuyendo el falso positivo (Figura 14).

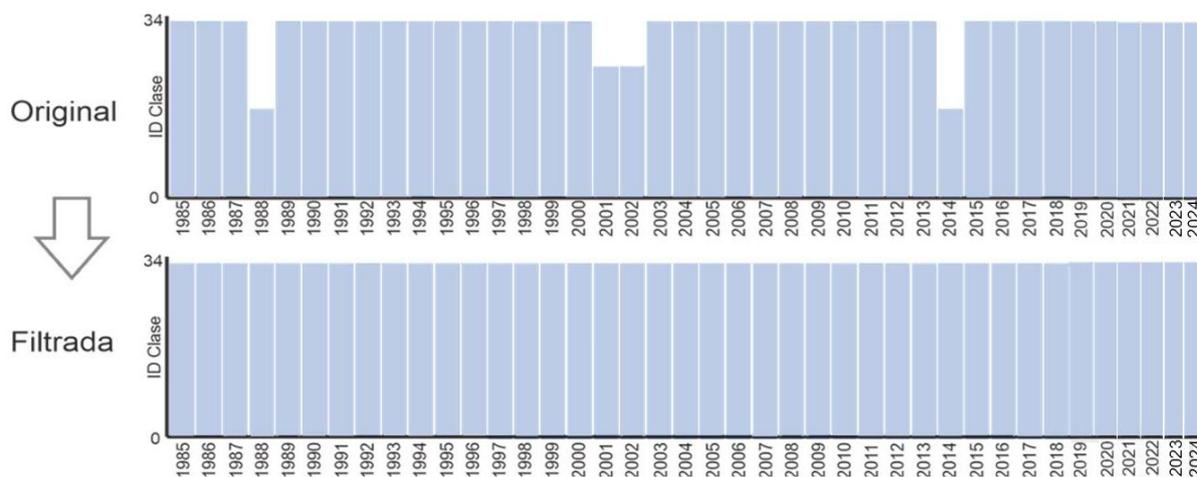
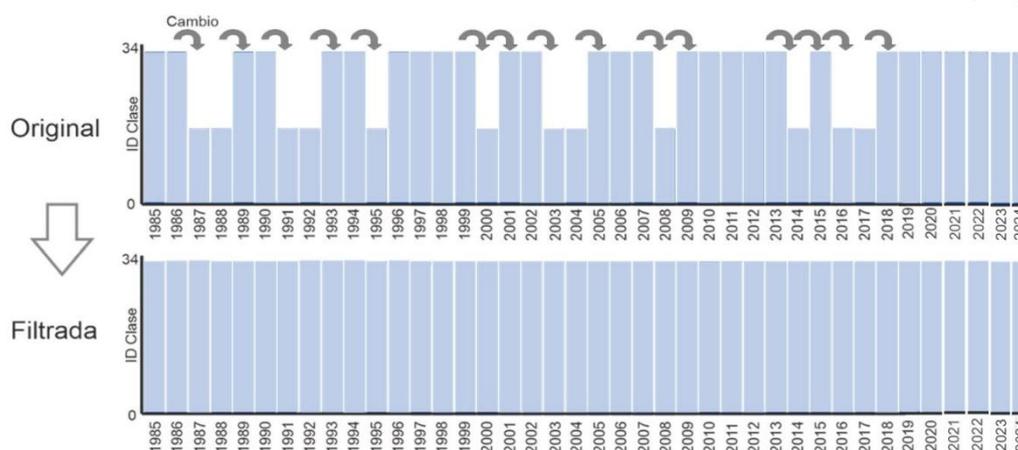


Figura 14. Funcionalidad del filtro de frecuencia

### 3.4.5 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 40 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 con las necesidades de cada subregión y/o tema transversal, se adecuaron los criterios del filtro (Figura 15). Se descartó su aplicación en varias subregiones.



**Figura 15.** Funcionalidad del filtro de incidencia

### 3.4.6 Reclasificación

La reclasificación se utilizó como estrategia para mejorar los datos, donde no hubo continuidad de clase. Se utilizaron una serie de polígonos extraídos de otros mapas de referencia, a los que se les llamó máscaras. Con las máscaras fue posible indicar cambios de una clase cuando se encontró dentro o fuera de la misma.

## 3.5 Integración

Los resultados obtenidos de clasificación a nivel general y de temas transversales fueron integrados como un único mapa por cada año de análisis, siguiendo las reglas de integración.

**Tabla 9.** Reglas de prevalencia por bioma para la fase de integración

Prevalencia	Nombre de la clase	ID de clase	Fuente
<b>1</b>	Minería	30	Mapa transversal
<b>2</b>	Glaciar	34	Mapa transversal
<b>3</b>	Salar	61	Mapa general
<b>4</b>	Acuicultura	31	Mapa transversal
<b>5</b>	Agua	33	Mapa transversal/Mapa general

6	Infraestructura Urbana	24	Mapa transversal
7	Soya <i>Beta</i> (2021-2024)	39	Mapa transversal
8	Otros cultivos	72	Mapa transversal
9	Pastura	15	Mapa transversal
10	Agricultura	18	Mapa transversal
11	Mosaico de usos	21	Mapa general
12	Bosque inundable	6	Mapa transversal
13	Herbazal/arbustal inundable	11	Mapa transversal/Mapa general
14	Pajonal y arbustal andino inundable	82	Mapa transversal/Mapa general
15	Otra área antrópica sin vegetación	25	Mapa general
16	Herbazal/arbustal	12	Mapa general
	Pajonal y arbustal andino	81	Mapa general
17	Otra formación natural no forestal	13	Mapa general
18	Matorral	66	Mapa general
19	Playa, duna o banco de arena	23	Mapa transversal/Mapa general
20	Otra área natural sin vegetación	68	Mapa general
21	Afloramiento rocoso	29	Mapa transversal/Mapa general
22	Bosque abierto	4	Mapa general
23	Bosque	3	Mapa general

**Nota.** En la Tabla 9 se muestra el orden de prevalencia para la integración en todos los biomas del país, si el bioma no posee con una clase salta a la siguiente clase.

### 3.6 Mapas de transiciones

Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las transiciones. Estas representan los cambios entre pares de mapas, es decir, entre dos periodos. Los resultados están disponibles en la plataforma de MapBiomias Bolivia 3.0. Las transiciones son calculadas para diferentes periodos, como:

- Años consecutivos, anuales (por ejemplo, de 2001 a 2002, o de 2013 a 2014, etc.)
- Períodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- Períodos de diez años (por ejemplo, 2000-2010)
- Serie temporal completa (1985-2024)
- Períodos especiales (por ejemplo, 2000-2024)

### 3.7 Estadísticas

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

- País
- Bioma
- Departamento
- Municipio
- Cuenca hidrográfica
- Territorios indígenas
- Áreas naturales protegidas
- Sitios Ramsar
- Ecorregiones
- Región geográfica

## 4 Consideraciones prácticas y desafíos

La Colección 3 de mapas anuales de cobertura y uso del suelo en Bolivia es un instrumento de monitoreo estratégico que refleja la historia del país, en más de tres décadas. La producción de este volumen de información multianual ha dado lugar a aplicaciones para estimar tendencias en el cambio de la cobertura terrestre, así como para comprender los factores que modifican la dinámica de la cobertura terrestre.

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

Gracias al aprendizaje obtenido durante la elaboración de la Colección MapBiomias Bolivia 3.0 y al trabajo colaborativo con otras iniciativas MapBiomias, se logró una mayor eficiencia en tiempo y procesos. Se adoptó una metodología adaptada a cada territorio, utilizando el algoritmo Random Forest y un protocolo de mapeo flexible. Esto permitió ajustar el uso de muestras y características por país, aplicar filtros para mejorar la calidad del producto final y añadir temas transversales para mayor detalle temático. El siguiente objetivo es mejorar la leyenda, aumentar la precisión del mapeo y aplicar nuevas tecnologías de teledetección.

## 5 Referencias

- CUMAT. (2001). Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).
- FAO. (1978). Mapa de cobertura y uso de la tierra,1978. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).

- Ibisch P.L. & G. Mérida (eds.) 2003. *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.
- Navarro, G. 2002. *Vegetación y unidades biogeográficas de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño (eds). Cochabamba-Bolivia.
- Navarro, Gonzalo. (2011) *Clasificación de la Vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
- Proyecto Monitoreo de Deforestación en la Región Amazónica 2da fase, Sala de Observación Bolivia -SoB-OTACA. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).
- Superintendencia Agraria (2001). Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).
- UTNIT (2010). Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).
- ZAE. (2002). Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021).