



MAPBIOMAS  
BOLIVIA

Manual general MapBiomás

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

**Colección 2.0**

**Julio 2024**

## **Equipo de especialistas**

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

### ***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 de Teórica de Algoritmo (ATBD) RAISG – MapBiomás Bolivia Colección 2.0

## **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 2.0 de Mapas Anuales de Cobertura y Uso del Suelo de todo el territorio boliviano para el periodo de 1985 - 2023. 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 2.0 de MapBiomias Bolivia, que contempla el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo, entre los años 1985 y 2023.

## 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 .....	6
1.3.3	Bioma Valles.....	7
1.3.4	Bioma Chaco .....	7
1.3.5	Bioma Chiquitano.....	7
1.3.6	Bioma Tucumano-Boliviano .....	8
1.3.7	Bioma Pantanal .....	8
1.4	Aplicaciones .....	10
2	Información básica y antecedentes .....	11
2.1	Contexto institucional.....	11
2.1.1	Fundación Amigos por la Naturaleza – FAN.....	11
2.1.2	MapBiomias .....	11
2.2	Datos de percepción remota .....	12
2.3	Google Earth Engine y MapBiomias Amazonía.....	12
2.4	Otras iniciativas de mapeo.....	13
2.4.1	Fuentes mundiales de región.....	13
2.4.2	Fuentes para la región Amazónica.....	14
2.4.3	Fuentes para el territorio nacional .....	15
3	Metodología.....	16
3.1	Generación de mosaicos anual .....	18
3.1.1	División del espacio de análisis en cartas .....	18
3.1.2	Parametrización de mosaicos anuales.....	20
3.2	Variables de clasificación o feature space .....	25
3.3	Clasificación.....	29
3.3.1	Leyenda .....	29
3.3.2	Regiones de clasificación .....	37
3.3.3	Colecta de muestra .....	38
3.3.4	Random Forest.....	39
3.3.5	Temas transversales.....	39
3.4	Post clasificación .....	40
3.4.1	Llenado de vacíos de información (Gap Fill) .....	40
3.4.2	Filtro Temporal.....	41
3.4.3	Filtro Espacial .....	42
3.4.4	Filtro de frecuencia .....	42
3.4.5	Filtro de incidencia.....	42
3.4.6	Reclasificación .....	43
3.5	Integración .....	43
3.6	Mapas de transiciones .....	44
3.7	Estadísticas.....	44
4	Consideraciones prácticas y desafíos.....	44
5	Referencias.....	45
6	Apéndices.....	45

## Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de las características de la cobertura y uso de suelo de los biomas bolivianos.....	8
Tabla 2. Número de mosaicos de imágenes satelitales procesadas para MapBiomas Bolivia.....	19
Tabla 3. Resumen de parámetros utilizados en la construcción de mosaicos.....	21
Tabla 4. Parámetros para la evaluación de calidad de los mosaicos de imágenes Landsat .....	22
Tabla 5. Descripción de bandas y variables empleadas para MapBiomas Bolivia Colección 2.0 .....	26
Tabla 6. Leyenda de MapBiomas Bolivia Colección 2.0 .....	29
Tabla 7. Descripción de la Leyenda de MapBiomas Bolivia Colección 2.0.....	31
Tabla 8. Regiones de clasificación de MapBiomas Bolivia .....	37
Tabla 9. Reglas de prevalencia por bioma para la fase de integración.....	43

## 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 2.0 de MapBiomas Bolivia. ....	17
Figura 4. Regiones de mosaicos y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 2.0 MapBiomas Bolivia. .....	19
Figura 5. Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes.....	21
Figura 6. Serie anual de mosaicos de la Colección 2.0 MapBiomas Bolivia. ....	23
Figura 7. Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 2.0 MapBiomas Bolivia.....	24
Figura 8. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat. ....	29
Figura 9. Regiones operativas de clasificación.....	38
Figura 10. Temas transversales para MapBiomas Bolivia Colección 2.0. ....	40
Figura 11. Funcionalidad del filtro de Gap Fill .....	41
Figura 12. Funcionalidad del filtro temporal .....	41
Figura 13. Funcionalidad del filtro espacial .....	42
Figura 14. Funcionalidad del filtro de frecuencia .....	42
Figura 15. Funcionalidad del filtro de incidencia .....	43

## 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 2023 de la Colección 2.0 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 el 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 segunda 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. También se observaron mejoras en las clases de Agricultura y Pastos en los biomas de los Andes, Valles y Tucumano-Boliviano. Dentro de la clasificación general, se mejoró la detección de la clase Formación natural no forestal inundable en los biomas de los Andes, Valles y Tucumano-Boliviano.

La actual **Colección 2.0**: 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 2.0 tiene las 14 clases de la versión anterior e incluye cinco clases adicionales: Bosque abierto, Matorral, Afloramiento rocoso, Playa dunas o bancos de arena y Otra área natural sin vegetación, totalizando **19 clases mapeadas**, además de otras mejoras en la cobertura y suelo en la clase Transversal Agua.

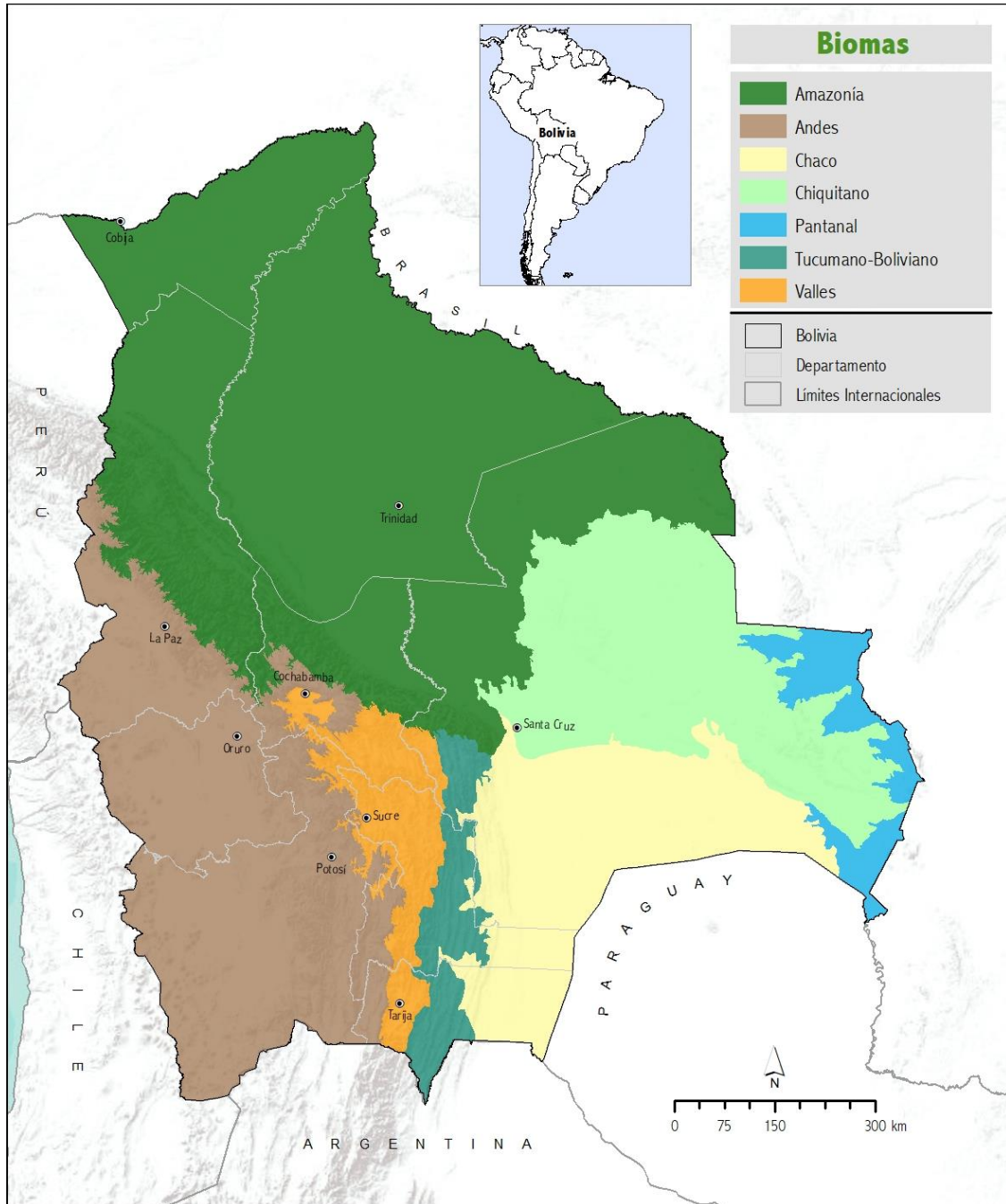
Las colecciones MapBiomias pretenden contribuir al desarrollo de un método rápido, fiable colaborativo y de bajo coste para procesar conjuntos de datos a gran escala y generar series temporales históricas de mapas anuales de LULC. Todos los datos, mapas de clasificación, códigos estadísticos y otros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

Los puntos de la Colección 2.0 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 39 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 2023;
- 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 MapBiomias Bolivia 2.0, se definieron 7 biomas (Figura 1): Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano, Pantanal y Tucumano-Boliviano.

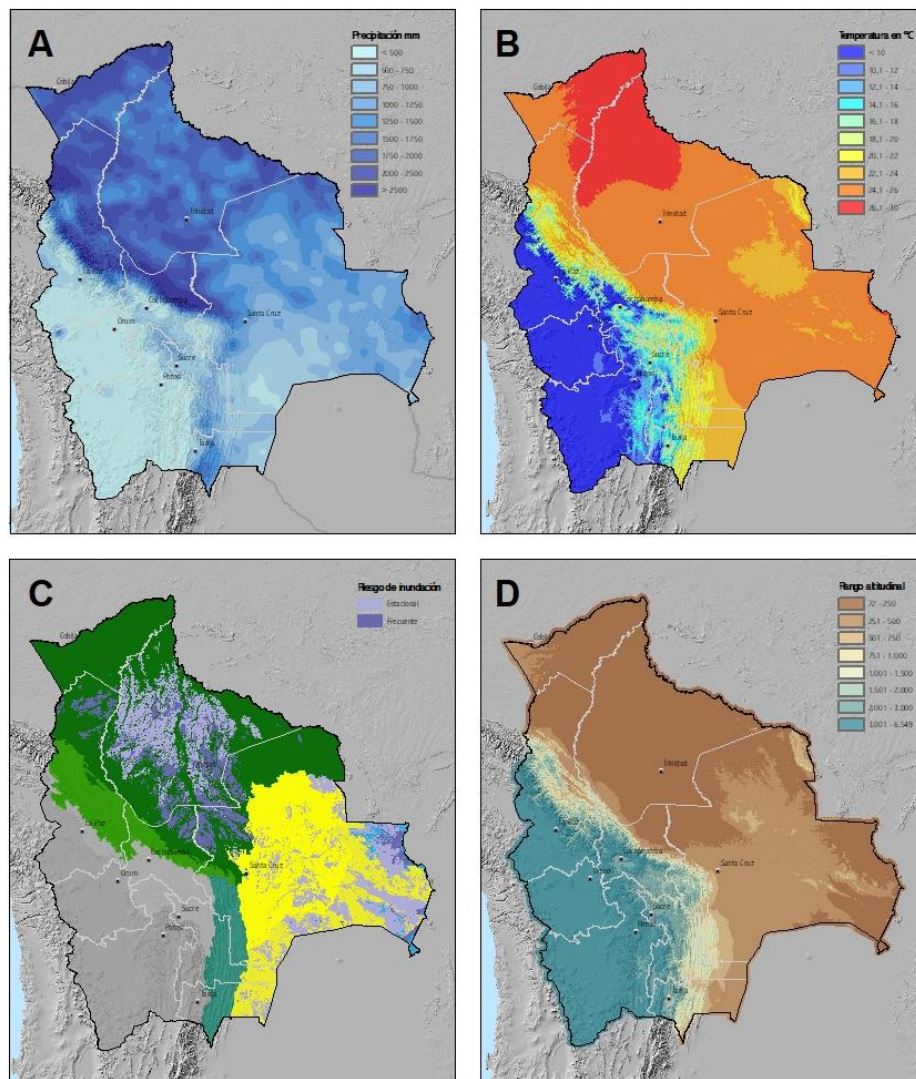


**Figura 1.** Localización y límites de biomas identificados en Bolivia.

Los biomas y regiones identificados en la colección de MapBiomias Bolivia Colección 2.0 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.

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.

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

### 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 conformado principalmente por formaciones boscosas siempreverdes y campestres. Las formaciones boscosas se desarrollan generalmente por encima de 1.000 m de altitud, hasta los 3.800 m aproximadamente. Posee un dosel arbóreo que se distribuye entre los 15 y 25 m de altura, con árboles emergentes que llegan a alcanzar poco más de 30 m. Las formaciones campestres, dominadas por pastos y hierbas, generalmente aparecen por encima de los 2.500 m de elevación en zonas con suelos poco profundos (cimas de serranías), o en zonas con topografía menos accidentada, por encima de 3.000 m, donde pasan a ser denominados páramos yungueños.

Debido a sus características fisiográficas (laderas con pendientes elevadas y abruptas), las principales actividades económicas desarrolladas en esta región son: la agricultura a pequeña escala, la ganadería de vacunos, ovinos y caprinos, la extracción selectiva de especies forestales, así como la siembra de cultivos de coca, café y cítricos.

- **Amazonía Baja:** Conformado principalmente por fisionomías boscosas siempreverde, así como campestres y sabanas (sabanas amazónicas) pero en menor proporción. Se distribuyen sobre elevaciones de hasta 1.000 m. 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 campestres, 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 campestre, 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 2.500 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* (2.300-3.000 m), bosque de churqui, bosques con *Acacia visco* y *Prosopis alba* (debajo de los 2.300 m). 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 campestres 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 semideciduo 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 semideciduo y deciduo, y el cerrado sensu lato, ambas desarrolladas sobre una fisiografía de llanura ondulada. Bosque medianamente alto semideciduos 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 montanos 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-) deciduos 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 deciduos 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 semideciduos, 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 rebaleses del Rio 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.

Bioma	Área (km <sup>2</sup> ) (% País)	Descripción de la cobertura	Principales usos y amenazas
Amazonía	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 y se desarrollan a una altitud de 300 a	Agricultura a pequeña y a gran escala; ganadería intensiva y en su mayoría extensiva. Pesca comercial. Extracción de productos forestales maderables y no maderables.

		3.800 m. Este bioma abarca siete áreas protegidas nacionales como ser el Madidi, TIPNIS, Carrasco, entre otros.	Amenazas: Deforestación por el incremento de la actividad agrícola y para la extracción de madera. Contaminación de los cuerpos de agua por la actividad minera.
<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, cactus columnares emergentes, arbustos dispersos y en menor proporción bosques secos interandinos y de Polylepis, pueden ser deciduos o semideciduos con doseles arbóreos de 3 a 10 m de altura. Resalta en este bioma la presencia de los desiertos de sal y glaciares, el cual origina lagunas, lagos y coberturas inundadas como los bofedales.	Agricultura tradicional y mecanizada; ganadería extensiva.  Amenazas: Contaminación de los cuerpos de agua por la actividad minera y crecimiento urbano. Extracción de litio, plantas de Cloruro de Potasio y Carbonato de litio cerca del salar de Uyuni que presenta un sistema frágil.
<b>Valles</b>	49.088 4%	Formación forestal compuesta por Bosque seco deciduo (10-20 m). Parcialmente con presencia de suculentas columnares muy altas	Su principal actividad es agricultura, ganadería, extracción forestal y aprovechamiento de leña.  Amenazas: Erosión de los suelos.
<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.	Agricultura pequeña y a gran escala y ganadería. Extracción de leña.  Amenazas: Erosión eólica e hídrica, degradación de los suelos y baja fertilidad. Ampliación de la frontera agrícola y práctica del chaqueo. Pérdida de calidad y diversidad de los recursos genéticos.
<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.	Agricultura mecanizada y ganadería intensiva. Aprovechamiento de madera, actividad minera y transporte de productos petroleros (gasoducto).  Amenazas: La pérdida de bosques, incendios y quemas para la ampliación del sector agrícola y ganadero.

<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 semidecíduos, siempreverdes y húmedos, alcanzan alturas entre 15 a 25 m.	Agricultura a pequeña y mediana escala; ganadería de ramoneo. Extracción selectiva de especies de valor forestal.  Amenazas: Ingreso de proyectos hidrocarburíferos, hidroeléctricos. Ampliación de la actividad ganadera y agrícola.
<b>Pantanal</b>	28.659 3%	Sabanas arboladas, hidrogeofíticas, palmares inundables, bosques inundables, bosques abiertos ubicados entre 100 a 800 m de altitud.	Ganadería intensiva.

#### 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 sólo complementa los esfuerzos ya existentes nacional y globalmente, trae consigo ventajas adicionales como son: 1) los mapas de MapBiomias Bolivia han sido construidos empleando la colección completa de datos Landsat (39 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 por 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 2.0 fueron obtenidos de las imágenes satelitales del periodo 1985 a 2023 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 metros de resolución espacial fueron accedidas a través de la plataforma Google Earth Engine, provistas por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

## 2.3 Google Earth Engine y MapBiomias Amazonía

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

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

La cadena de procesamiento de MapBiomias está basada enteramente en tecnología de Google y, como tal, la iniciativa MapBiomias 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 MapBiomias se basa en la tecnología de Google, que incluye procesamiento de imágenes en infraestructura de computación en la nube, programación con

---

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

<sup>3</sup> <https://developers.google.com/earth-engine/>

<sup>4</sup> [code.earthengine.google.com](http://code.earthengine.google.com)

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 geospaciales, tanto para beneficio público como para empresas y usuarios del gobierno.”

## 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 2020.
- **GlobeLand30:** Es una iniciativa del *National Geomatics Center of China*, que comprende conjuntos de datos espaciales recopilados a una resolución de 30 metros. Esta colección considera diez tipos de cobertura terrestre, incluidos bosques, superficies artificiales y humedales, para los años 2000 y 2010. Se extrajeron a partir de más de 20,000 imágenes satelitales de Landsat y del satélite chino HJ-1.
- **ESA CCI Land cover:** La agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) y la Iniciativa de Cambio Climático (CCI por sus siglas en inglés) pone a disposición mapas globales anuales de cobertura terrestre, que describen la superficie de la tierra en 22 clases. La serie de mapas globales anuales de cobertura terrestre abarcan el período desde 1992 a 2018.
- **CORINE Land Cover:** El inventario CORINE Land Cover (CLC) se inició en 1985 (año de referencia 1990). Se han realizado actualizaciones en 2000, 2006, 2012 y 2018. Consiste en un inventario de cobertura terrestre en 44 clases. CLC utiliza una Unidad Mínima de Mapeo (MMU) de 25 hectáreas (ha) para fenómenos de área y un ancho mínimo de 100 m para fenómenos lineales. Las series de tiempo se complementan con capas de cambio, que destacan los cambios en la cobertura del suelo con una MMU de 5 ha.
- **ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2:** Esta capa muestra un mapa global de uso del suelo / cobertura del suelo (LULC) del año 2020. El mapa se deriva de imágenes ESA Sentinel-2 con una resolución de 10 metros y contiene 10 clases. Este mapa fue producido por

un modelo de aprendizaje profundo entrenado con más de 5 mil millones de píxeles Sentinel-2 etiquetados a mano, muestreados en más de 20.000 sitios. distribuidos en los principales biomas del mundo.

- **ESA WorldCover 2020 y 2021:** Es un producto de cobertura terrestre global de referencia con una resolución espacial de 10 m, generado a partir de imágenes de Sentinel-2 y Sentinel-1 con 10 clases de cobertura terrestre y una precisión general de 75%. La leyenda incluye 11 clases genéricas que describen adecuadamente la superficie terrestre: "Cobertura arbórea", "Matorral", "Pastizales", "Tierras de cultivo", "Construido", "Vegetación desnuda/escasa", "Nieve y hielo", "Cuerpos de agua permanentes", "Humedal herbáceo", "Manglares" y "Musgos y líquenes".
- **Dynamic World:** Es un conjunto de datos de cobertura de suelo global de uso de la tierra con una resolución de 10 m casi en tiempo real, generado a partir de imágenes de Sentinel-2, producido mediante aprendizaje profundo, disponible gratuitamente y con licencia abierta. La leyenda presenta las probabilidades por píxel en 9 clases de cobertura terrestre: Agua, Formación forestal, arbusto y matorral, herbazales, 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

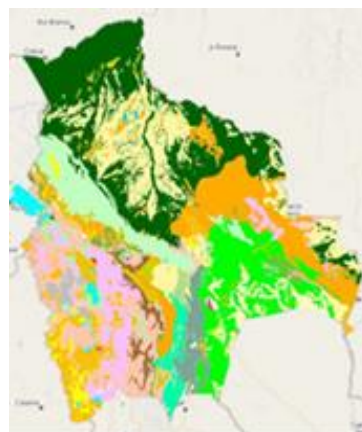
- **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean:** Presenta y esboza la base conceptual para una unidad de clasificación de los sistemas ecológicos. Estos representan grupos recurrentes de comunidades biológicas que se encuentran en entornos físicos similares y están influenciados por procesos 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.

- **MapBiomias 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 14 clases mapeada para la Amazonía boliviana en el período de 1985 a 2022.

#### 2.4.3 Fuentes para el territorio nacional

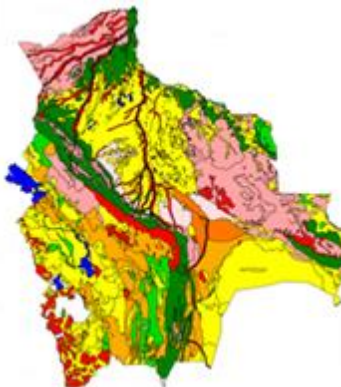
- **Mapa de cobertura y uso de la tierra, 1978:** El mapa representa las características ambientales, uso de suelo y recursos naturales del territorio boliviano. Generada en base a las primeras imágenes del satélite Landsat del año 1978, a través de la metodología Land Cover Classification System (Sistema 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.



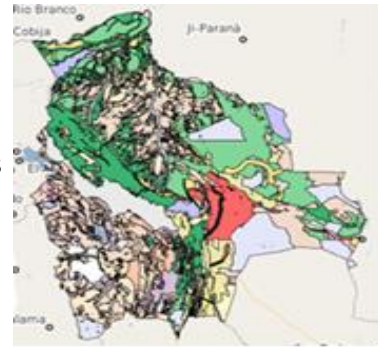
- **Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa representa los elementos naturales y antrópicos de la superficie terrestre, la información que describe es un importante insumo para la planificación y modelamiento. Fue elaborado por la Superintendencia Agraria en base a un monitoreo 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.



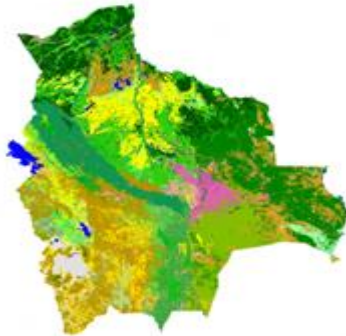
- **Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa presenta la clasificación de tierras según su capacidad de uso (CUMAT). Se basa en los efectos combinados del clima y las características permanentes de los suelos, capacidad productiva de la tierra, limitaciones en el uso de la 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



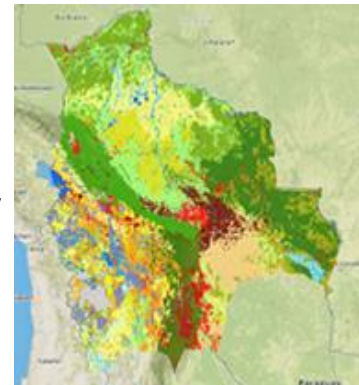
- **Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia, 2002:** La zonificación agroecológica y socioeconómica (ZAE) representa zonas de uso sostenible de la tierra y sus recursos naturales renovables. La zonificación busca ordenar el uso, el mismo de acuerdo con su aptitud, considerando las condiciones socioeconómicas 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 Productivos 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 2.0 MapBiomás 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).

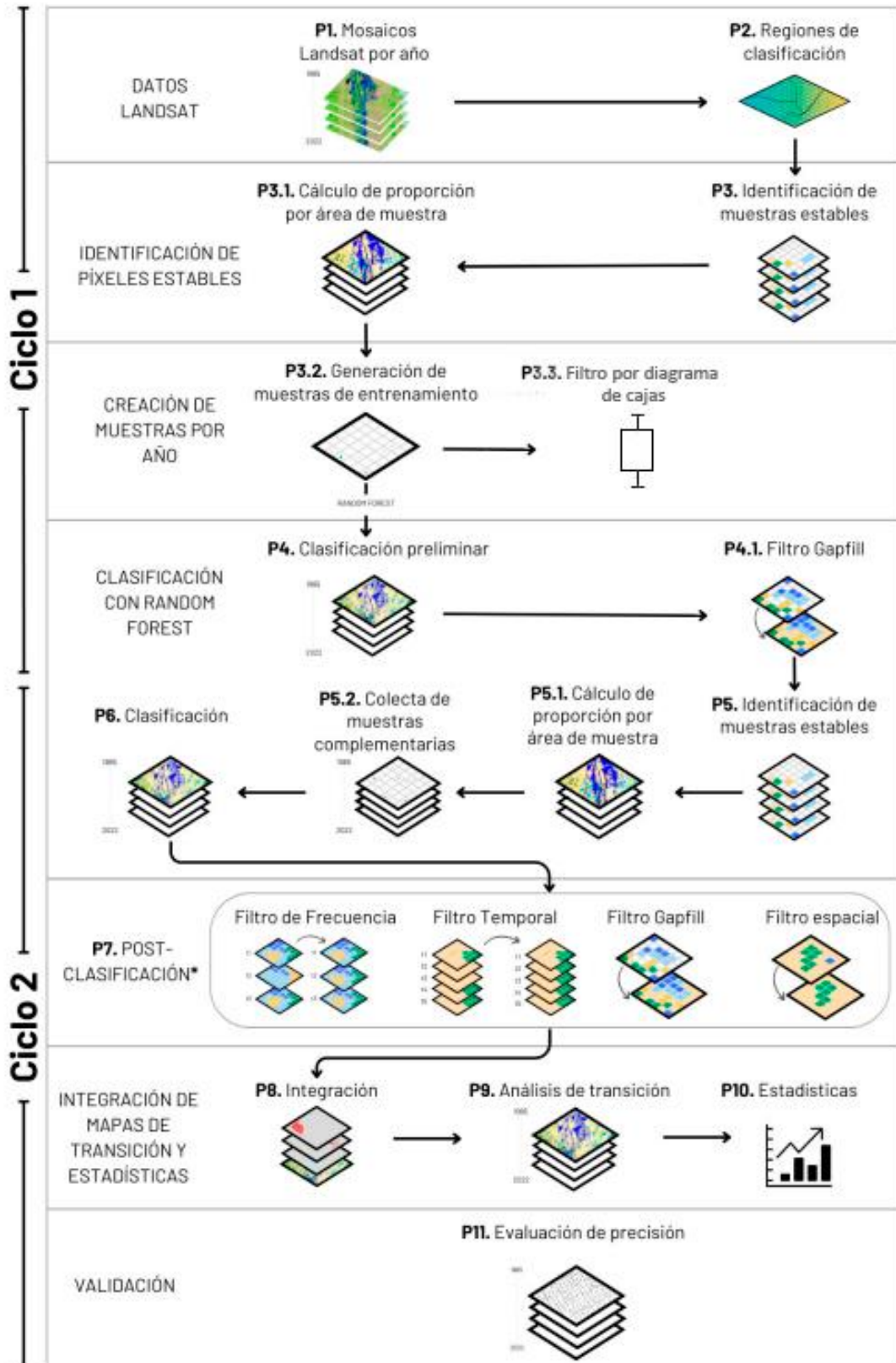


Figura 3. Síntesis metodológica de la Colección 2.0 de MapBiomass Bolivia.

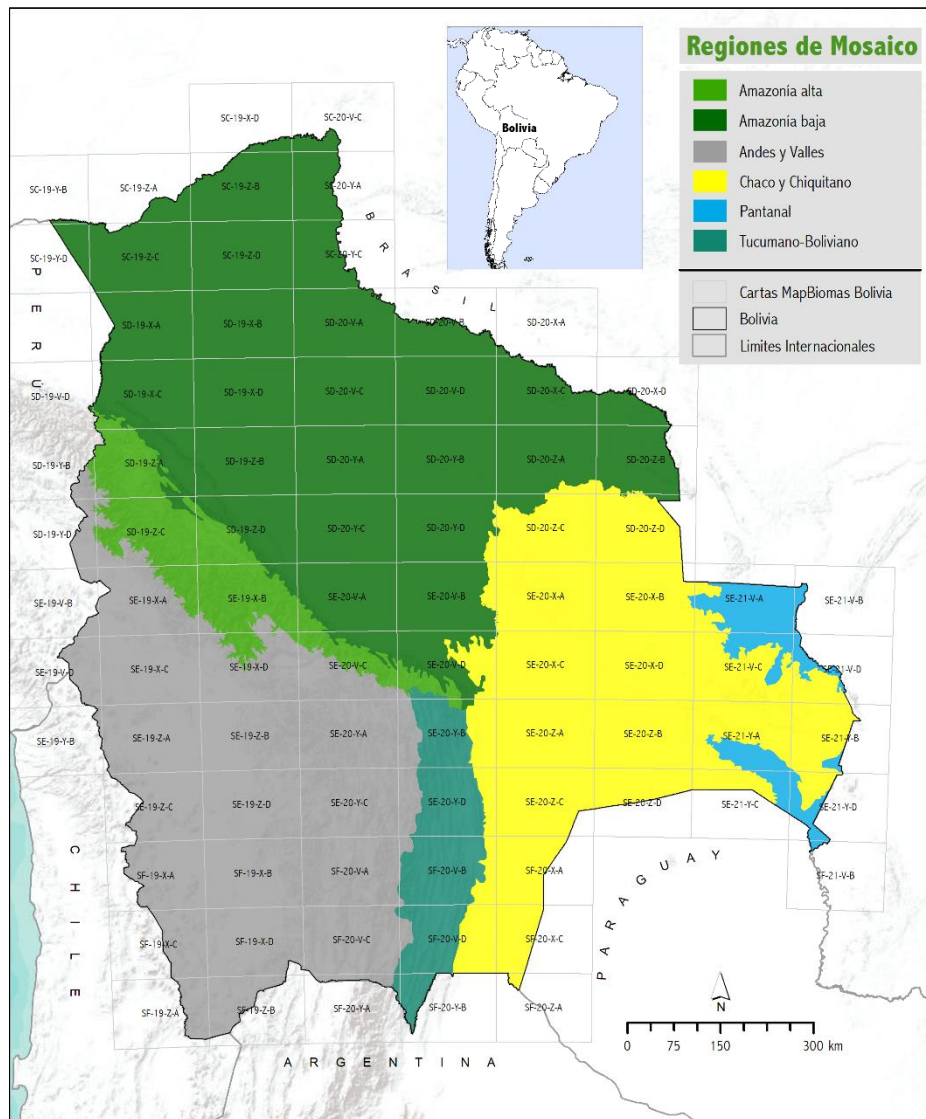


### **3.1 Generación de mosaicos anual**

#### *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 (Desértico, Seco, Semihúmedo) y Valles, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano y Pantanal, con un total de 143 cartas. El período de análisis abarca 39 años desde el año 1985 al 2023, dando un total de 5.577 mosaicos Landsat (143 cartas/biomas x 39 años,**

Tabla 2).



**Figura 4.** Regiones de mosaicos y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 2.0 MapBiomos Bolivia.

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

Regiones de Mosaico	Cantidad de imágenes	Total de mosaicos
Amazonia Alta	14	546
Amazonia Baja	42	1.638
Andes y Valles	32	1.248
Chaco	19	741
Chiquitano	17	663
Tucumano-Boliviano	9	351
Pantanal	10	390
<b>Total Mosaicos</b>	<b>143</b>	<b>5.577</b>

**Nota.** El número total de mosaicos se refiere a lo largo de 39 años por bioma.

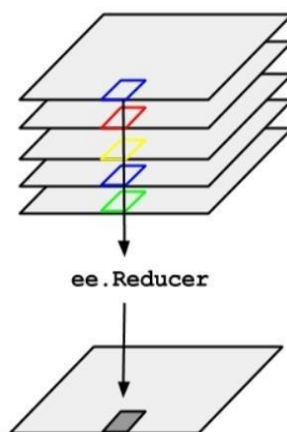


### 3.1.2 Parametrización de mosaicos anuales

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 2023) 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. Este dato proviene de la metadata de las imágenes Landsat.
- **Probabilidad de nubes:**
- **ShadowSum:** Es un parámetro de TDOM para detección de sombra de nube. Un número inferior enmascarar menos píxeles con nube.
- **cloudThreshn:** Es un parámetro de CloudScore para detección de nubes. Los números más bajos aumentan el enmascaramiento, los números más altos disminuyen el enmascaramiento.
- **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>5</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 39 años de estudio, 1985-2023 en la Tabla 3.

**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 – 31 octubre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		
Andes y Valles	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 enero – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		
Chaco y Chiquitano	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2012-2023		
Tucumano-Boliviano	L5	1985-1999, 2003-2011	1 enero – 30 diciembre	
	L7	2002, 2012	1 abril – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		
Pantanal	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 abril – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		

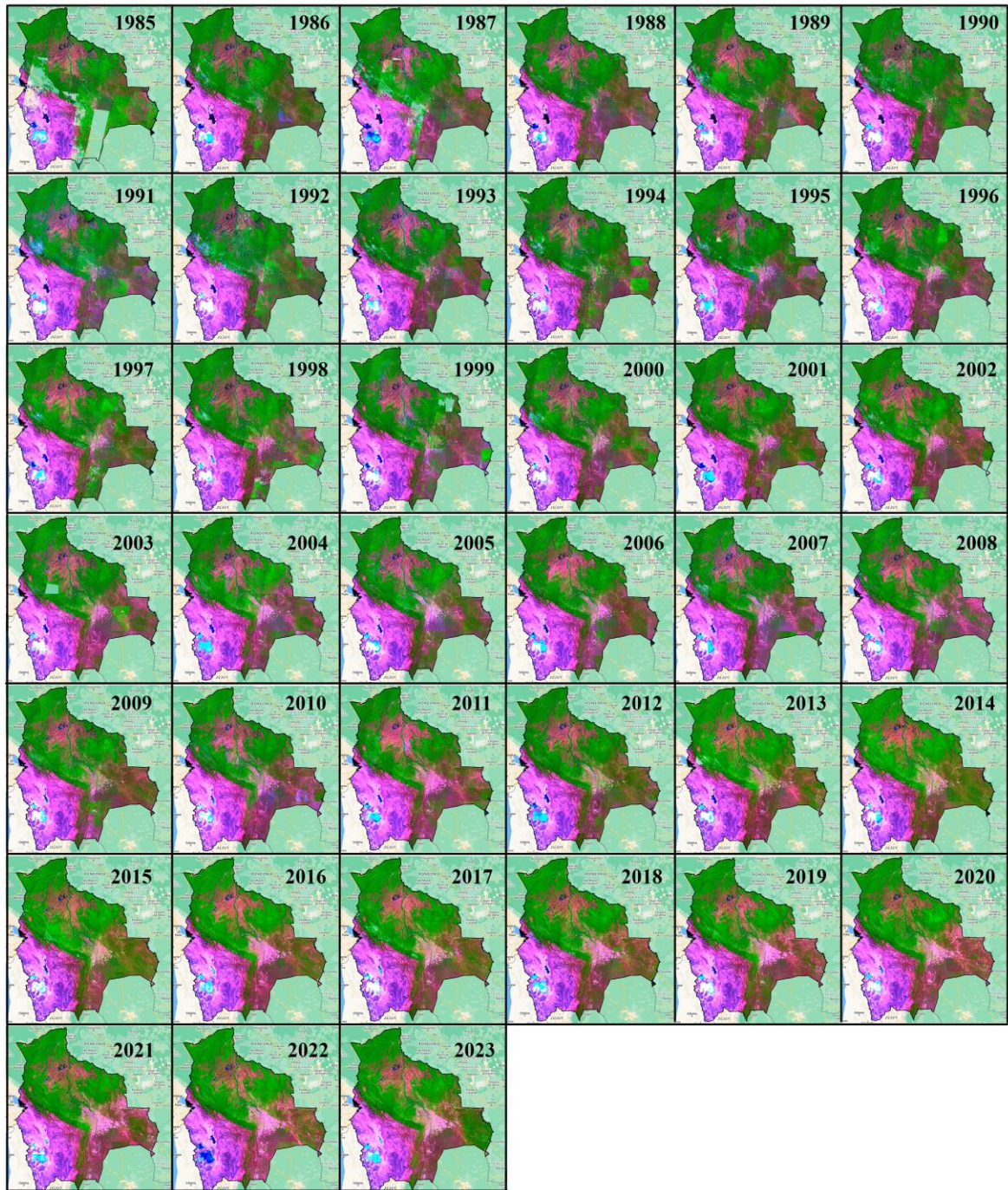
<sup>5</sup> Tomado de: [https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers\\_image\\_collection](https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_image_collection)

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

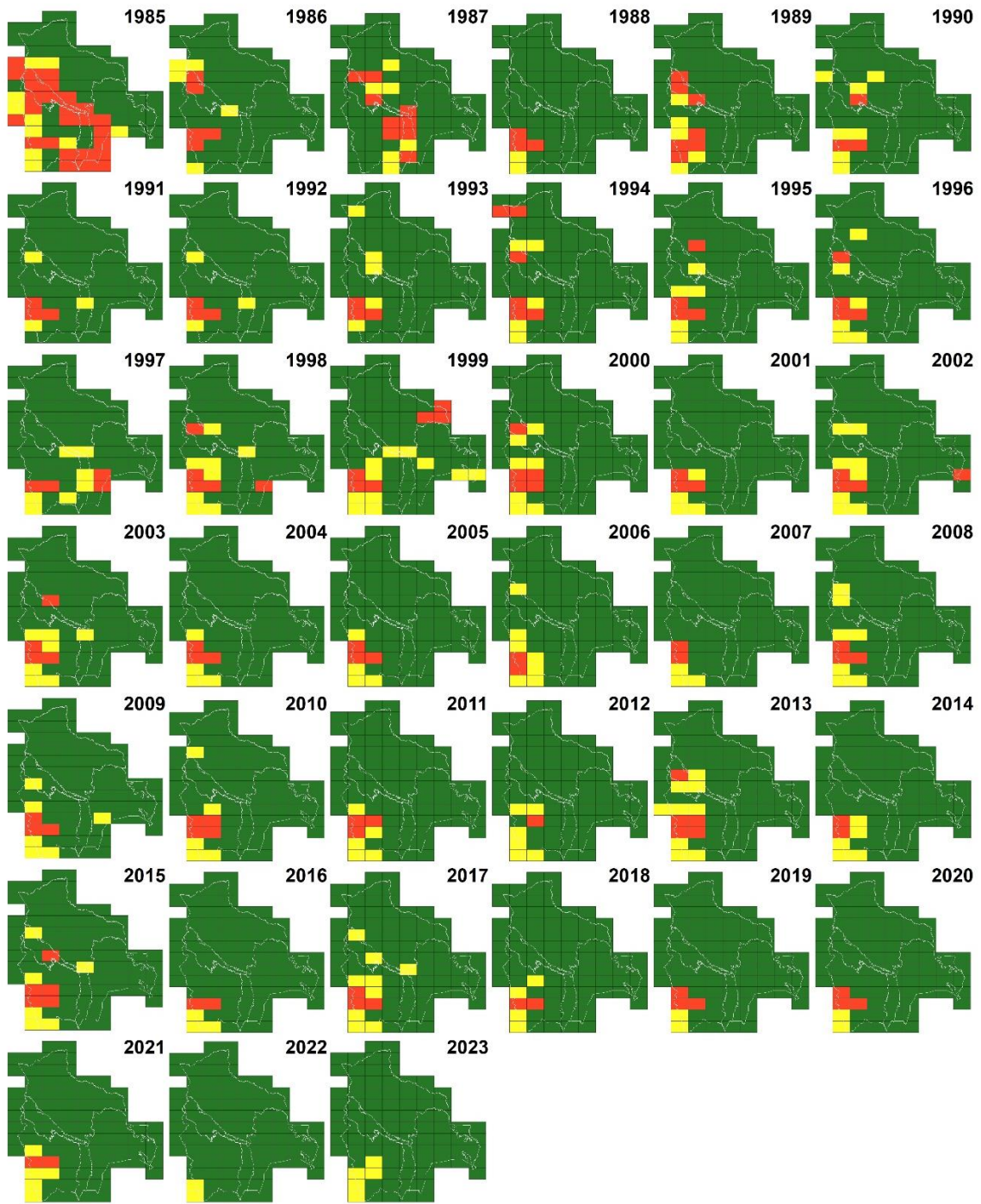
<b>Calidad</b>	<b>Símbolo</b>	<b>% Cubierto</b>	<b>% Ruido Nubes</b>	<b>% Ruido Bando</b>	<b>% Ruido Sombra Relieve</b>
Buena	B	> 88	< 5	< 5	< 5
Regular	R	> 65 - 95	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Mala	M	< 65	> 10	> 10	> 10

De los 5.577 mosaicos construidos para los 39 años, el 89% se evaluaron como bueno, 6% como regular y 5% 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 2.0 MapBiomias Bolivia.





Calidad de la clasificación Buena Regular Mala

**Figura 7.** Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 2.0 MapBiomias 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>6</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>7</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>6</sup> Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomias Bolivia.

<sup>7</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 MapBiomias Bolivia Colección 2.0

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor <sup>8</sup>											Banda de Calidad <sup>9</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	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														
	nuaci	$UNT L * (1 - \sqrt{(NDWI - aNDWI) ^ 2 + (NDVI$	Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas	X														

<sup>8</sup> Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

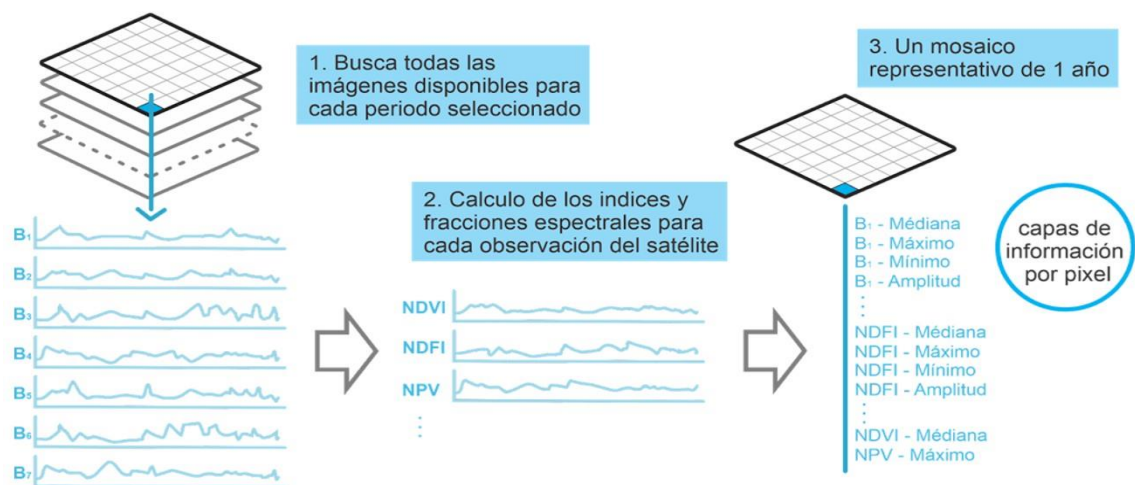
<sup>9</sup> Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.

	$i-aNDVI)2+(NDBI-aND BI)2)$								
ndsi	$(green-swir1)/(green+swir1)$	Índice Diferencial Normalizado de Nieve	X					X	
cai	$(swir2 / swir1)$	Índice de Alteración del Color	X					X	X
gli	$((2 * green) - red - blue) / ((2 * green) + red + blue)$	Índice de hoja verde	X	X				X	X
mndwi	$(green - nir) / (green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada	X	X	X				X
ndbi	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Índice acumulado de diferencia normalizada	X	X				X	X
ndgb	$(green - blue) / (green + blue)$	Diferencia normalizada Verde Azul	X	X	X		X		X
ndmi	$(nir - swir1) / (nir + swir1)$	Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad	X	X					X
mdmir	$(swir1 - swir2) / (swir1 + swir2)$	Índice de infrarrojo medio de diferencia normalizada	X		X		X	X	X
ndrb	$(red - blue) / (red + blue)$	Diferencia Normalizada Rojo Azul			X		X	X	
ndsi2	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Diferencia Normalizada de suelo 1	X	X	X			X	X
Fracción MME <sup>10</sup>	gv	Abundancia fraccional de vegetación verde dentro del píxel	X				X	X	
	npv	Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética dentro del píxel	X					X	
	soil	Abundancia fraccional de suelo dentro del píxel	X				X	X	
	shade	$100 - (gv + npv + soil + cloud)$	Abundancia fraccional de sombra dentro del píxel	X					
	snow	Abundancia fraccional de nieve dentro del píxel	X					X	
	cloud	Abundancia fraccional de nubes dentro del píxel	X						

<sup>10</sup> MME = Modelo de Mezcla Espectral



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 MapBiomás es un sistema jerárquico con una combinación de clases de cobertura y uso de suelo. En la colección MapBiomás Bolivia Colección 2.0 se mapearon 19 clases (nivel 2), las cuales pertenecen a 6 ámbitos (nivel 1): Formación boscosa, formación natural no boscosa, 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 MapBiomás Bolivia Colección 2.0

Clase	Natural/Antrópico	Bioma	ID	Código hexagesimal	Color
<b>1. Bosque natural</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 y Chiquitano	6	#026975	
<b>2. Vegetación natural no forestal</b>			<b>10</b>	<b>#d6bc74</b>	
2.1. Formación natural no forestal inundable	Natural	Todos	11	#519799	
2.2. Formación campestre o herbazal	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. 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	
3.3. Mosaico de usos	Antrópico	Todos	21	#ffefc3	
<b>4. Área sin vegetación</b>			<b>22</b>	<b>#EA9999</b>	
4.1. Playa, duna o banco de arena	Natural	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	23	#ffa07a	
4.2. Infraestructura urbana	Antrópico	Todos	24	#d4271e	
4.3. Minería	Antrópico	Amazonía, Andes, Valles y Chiquitano	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. Glaciar	Natural	Andes	34	#93dfe6	
<b>6. No observado</b>	No definido	<b>Todos</b>	<b>27</b>	<b>#ffffff</b>	

**Nota.** 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 2.0

MapBioma Clase (ID)	Bioma	Descripción de la vegetación
Bosque (ID:3)	Amazonia	<u>Amazonía alta:</u> Presenta en su mayor extensión formaciones boscosas húmedas siempreverdes (5-25 m.) distribuidas entre 300 y 3.800 m, ocupando principalmente la porción oriental de los Andes tropicales. Incluye bosques yungueños. <u>Amazonía Baja:</u> Conformado por bosque húmedo casi siempreverde (30-45m), siempreverde (30-35m), bosques siempreverdes en transición hacia bosques semidecuidos estacionales del Bosque Seco Chiquitano (>25 (30)m), bosque de galería e Islas de bosque.
	Andes	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.
	Valles	Bosques de <i>Polylepis altimontanos</i> siempreverdes estacionales, distribuidos entre los 2.400-3.900 m de altitud.
	Tucumano-Boliviano	Presencia predominante de bosques de <i>Polylepis</i> , acompañados de bosques ribereños, húmedos y subhúmedos altimontanos Boliviano-Tucumano (15-25 m). Los bosques pueden ser siempreverde estacionales o permanentes, se desarrollan en geografías accidentadas a una altura de 2.400 a 3.900 m.
	Chaco	Presenta conjunto de bosques (xéricos de las llanuras del Chaco, transicionales del Chaco a Chiquitania y de los arenales del Chaco) que se distribuyen dentro de la llanura aluvial del río Parapetí que muestran un dosel irregular y semiabierto de 10 a 12 m de altura con sotobosque bastante denso.
	Chiquitano	Presenta bosques subhúmedos, semidecuidos, chiquitanos: pueden ser bajos a altos (8–25 m) de transición al chaco y amazonía; están distribuidos en los suelos bien drenados. El dosel de estos bosques es semicaducifolio a casi caducifolio, en años muy secos; denso a semidensos.

	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 semidecíduos. 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% de vegetación natural.
Bosque inundable (ID:6)	Amazonía	Bosques amazónicos de inundación, bosques de várzea (inundados por aguas blancas, ricas en sedimentos y minerales) y con una comunidad de plantas que por lo regular se inundan durante aproximadamente dos meses al año y bosques de igapó (inundados por aguas negras, ricas en materia orgánica) que se inundan por períodos de cinco a seis meses, dependiendo de la geografía local.
	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	Presencia en menor proporción de los bosques con suelos mal drenados a estacionalmente inundados, distribuidos en fondos de valles y las llanuras aluviales.
Formación natural no forestal inundable (ID:11)	Amazonía	Cobertura vegetal ubicada en la llanura aluvial inundable, como herbazales y sabanas hidrofíticas. Caracterizada por suelos de sustratos hidromórficos, los cuales se inundan por un largo periodo del año
	Andes	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.
	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	Las inundaciones son ocasionadas por el desborde de los ríos que forman mazamoras creando un efecto de represamiento afectando a la vegetación y/o posibles deslizamientos.

		En algunas zonas generan humedad del suelo que son aprovechadas por los agricultores para formar atajados.
	Chaco	Las inundaciones no son muy frecuentes, ocurren cada ocho o diez años. Las zonas más afectadas son las de los paisajes de monte, de bajada y las laderas de los ríos. Incluye sabanas abiertas acompañada de matorrales dispersos.
	Chiquitano	Se distribuye en la transición hacia el Pantanal y el Chaco. Presenta conjunto de sabanas arboladas y herbáceas gramínoideas que se desarrolla sobre suelos arcillosos y limosos mal drenados hasta estacionalmente inundados con microrelieve de montículos, pantanos herbáceos y flotantes.
	Pantanal	La vegetación de pantanos puede ser permanente o semipermanente que están inundados más de ocho meses al año. Presenta pantanos herbáceos y flotantes dominados por grandes gramíneas y ciperáceas que alcanzan espesores de 0,5 a 1 m donde algunos arbustos pueden enraizar. Además, incluye en menor proporción: sabanas herbáceas, totorales, arrozales, matorrales, patujusales pantanosos, junquillares.
Formación Campestre o herbazal (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	Zona norte: Pajonales altoandinos de la Puna húmeda distribuidos en diferentes tipos de suelos desde húmedos a erosionados. Turberas y herbazales. Se presenta en zonas >3.000 m.s.n.m. Zona sur: Pajonales y matorrales altoandinos de la Puna Xerofítica sur, con tholares.
	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	Baja presencia de vegetación herbácea y pajonal.

	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
	Pantanal	Presenta sabanas herbáceas que incluye a las Pampas de tacuarilla y Cola de ciervo, acompañadas de vegetación herbácea (gramíneas).
Afloramiento Rocoso (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.
	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, Andes, Valles y Tucumano-Boliviano	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.
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	Arbustos semiabiertos, abiertos y dispersos (3-10 m) y matorrales. Se localizan en las serranías, y/o en las faldas de estas. Se ubican en la zona de transición con el bioma Tucumano-Boliviano.
	Valles	Áreas conformadas por varias comunidades de arbustales bajos, chaparrales cerrados y dispersos.
	Tucumano-boliviano	Presenta vegetación mixta de arbustos pequeños y chaparrales dispersos, que sustituyen a los bosques húmedos y subhúmedos potenciales modificados por el uso humano. Se encuentran distribuidas por el piso basimontano Tucumano-Boliviano.
	Chaco	Se caracteriza por presentar sabanas arboladas con predominio del componente herbáceo o con abundantes matorrales y arbustos de manera dispersa y en suelos muy arenosos y bien drenados.

	Chiquitano	Están conformados florísticamente por los chaparrales del Abayoy. Además, presenta arbustales, matorrales y bromeliáceas espinosas, cactáceas y helechos xeromórficos.
	Pantanal	Baja presencia de vegetación arbustiva.
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.
Pasto (ID:15)	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano y Pantanal	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.
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.
Infraestructura urbana (ID:24)	Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-boliviano	Área cubierta por infraestructura urbana, con asentamientos humanos mayores a 1.000 habitantes.



Minería (ID:30)	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.
Salar (ID:61)	Andes	Desierto de sal a una altura de 3650 m.s.n.m. Se destaca el Salar de Uyuni y Coipasa.
Otra área natural sin vegetación (ID 68)	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.
Otra área antrópica sin vegetación (ID:25)	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.
Río o lago (ID: 33)	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.
Glaciar (ID:34)	Andes	Área de cobertura o masa de hielo permanente, localizados en las cumbres andinas, producto de la acumulación, compactación y recrystalización de la nieve.

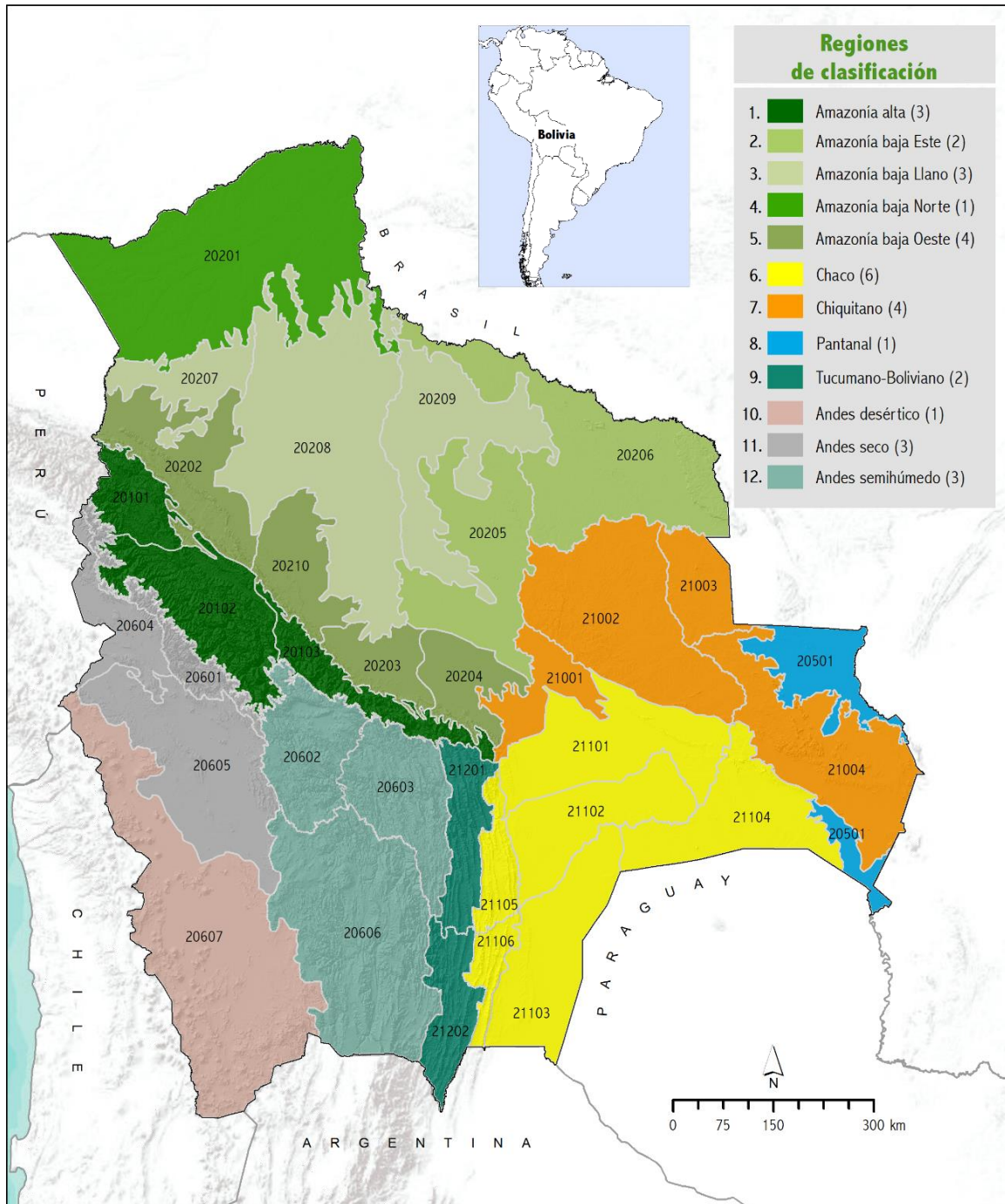
### 3.3.2 Regiones de clasificación

Para efectos de facilitar el mapeo de la diversidad de paisajes comprendidos en Bolivia, se definieron 33 regiones operativas de mapeo o clasificación. Cada región fue trabajada independientemente para cada año de la serie temporal.

Las regiones fueron definidas siguiendo criterios de subregiones basado en el mapa de Ecorregiones de Bolivia propuesto por Ibisch en el año 2003, como se mencionó en el área de estudio. A continuación, la Tabla 8 muestra las regiones de clasificación con los códigos de las regiones operativas que componen cada una y una pequeña descripción de la región de clasificación.

**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	Yungas: Bosques andinos perhúmedos.
	20102	
	20103	
<b>Amazonía baja Norte</b>	20201	Bosques Amazónicos de Pando Bosques Amazónicos de inundación
	20202	Bosques Amazónicos Subandinos Bosques Amazónicos Preandinos
20203		
20204		
20210		
<b>Amazonía baja Oeste</b>	20205	Bosques Amazónicos de Beni y Santa Cruz
	20206	
<b>Amazonía baja Llano</b>	20207	Cerrado Paceño
	20208	Cerrado Beniano
	20209	Sabanas Inundables de los Llanos de Moxos
<b>Andes</b>	20601	Vegetación Altoandina de la Cordillera Oriental con pisos nivales y subnivales
	20602	Puna Semihúmeda
	20603	Bosques Secos Interandinos
	20604	Puna seca
	20605	Puna desértica
	20606	Puna semi húmeda
<b>Chiquitano</b>	21001	Bosque Seco Chiquitano
	21002	Cerrado Chiquitano
	21003	Sabanas Inundables del Pantanal
	21004	
<b>Chaco</b>	21101	Gran Chaco: Los bosques varían según la humedad y suelos drenados o no.
	21102	
	21103	
	21104	
	21105	
	21106	
<b>Tucumano-Boliviano</b>	21201	Bosque Tucumano-Boliviano
	21202	Chaco Serrano
<b>Pantanal</b>	20501	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 2023). 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>11</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 2.0 de MapBiomias Bolivia, el número de árboles varió según las necesidades y características de cada región de clasificación.

### 3.3.5 *Temas transversales*

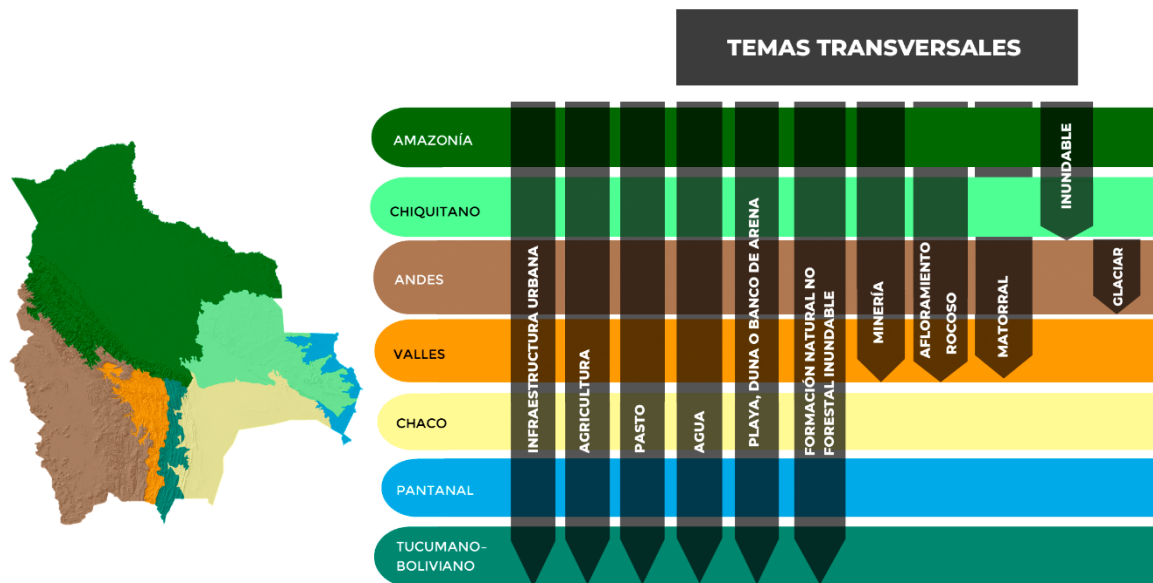
En casos particulares, se detectaron limitaciones en la diferenciación de clases específicas que motivaron la decisión de mapearlas por separado, las cuales fueron:

- Bosque inundable (ID = 6);
- Formación Natural No Forestal Inundable (ID = 11);
- Minería (ID = 30);
- Glaciar (ID = 34);
- Pastos (ID = 15);
- Afloramiento rocoso (ID = 29);
- Matorral (ID = 66);
- Playa, duna o banco de arena (ID = 23);
- Agricultura (ID = 18);
- Infraestructura urbana (ID = 24); y
- Agua (ID = 33)

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).

---

<sup>11</sup> Leo Breiman, “Random Forests,” *Machine Learning* 45, no. 1 (October 1, 2001): 5–32, <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>



**Figura 10.** Temas transversales para MapBiomos Bolivia Colección 2.0.

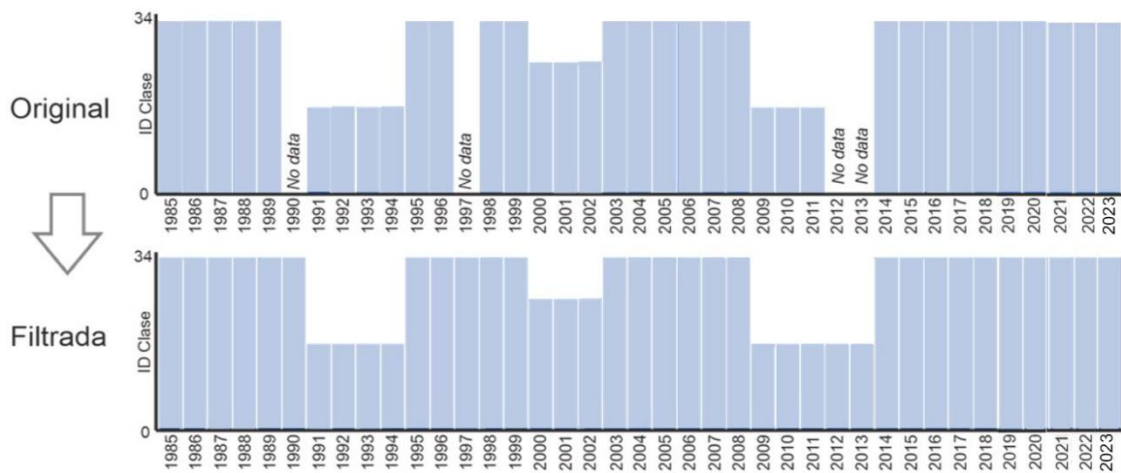
### 3.4 Post clasificación

Después de realizar las clasificaciones para los 39 años, fue necesario aplicar una secuencia de filtros para reducir inconsistencias temporales, ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo<sup>12</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>12</sup> 5 píxeles = aproximadamente media hectárea.

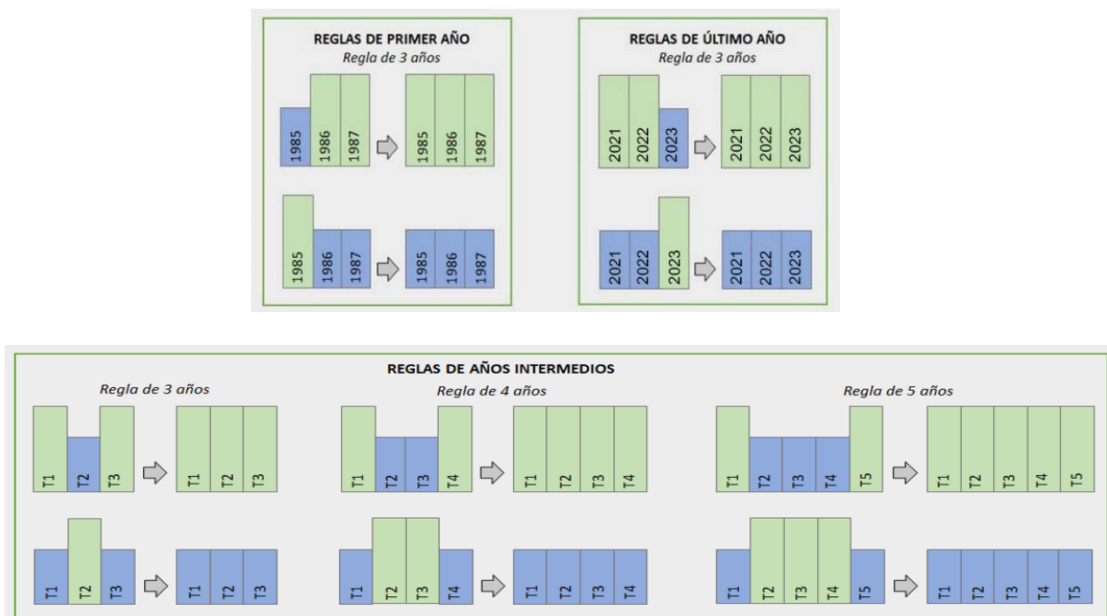


**Figura 11.** Funcionalidad del filtro de Gap Fill

### 3.4.2 Filtro Temporal

Las reglas están categorizadas en 3 grupos:

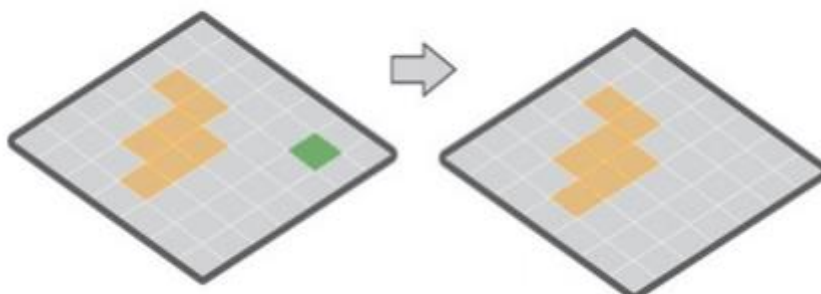
1. *Reglas generales (RG)*, buscan corregir el dato del año central (T), a partir de los datos correspondientes a los años anteriores (T-1, T-2) y posteriores (T+1, T+2);
2. *Reglas de primer año (RP)*, actualizan el valor del primer año (1985), con base en los valores de los siguientes dos años (T+1, T+2); y
3. *Reglas de último año (RU)*, buscan actualizar el valor del último año (2023) 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

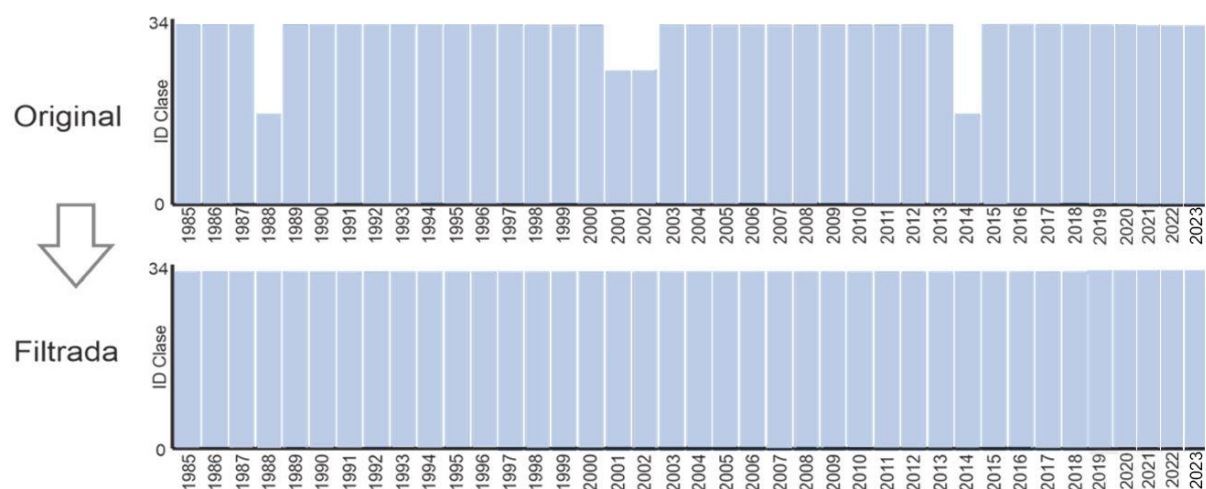
Con el filtro espacial se pretende eliminar los píxeles aislados o de borde. Se definen reglas de vecindad que pueden llevar a cambiar la clasificación del píxel. La Colección 2.0 MapBiomás Bolivia, tiene dos tamaños (kernel 3 y kernel 5) de filtro espacial; en Bolivia se utilizó el tamaño de kernel 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).

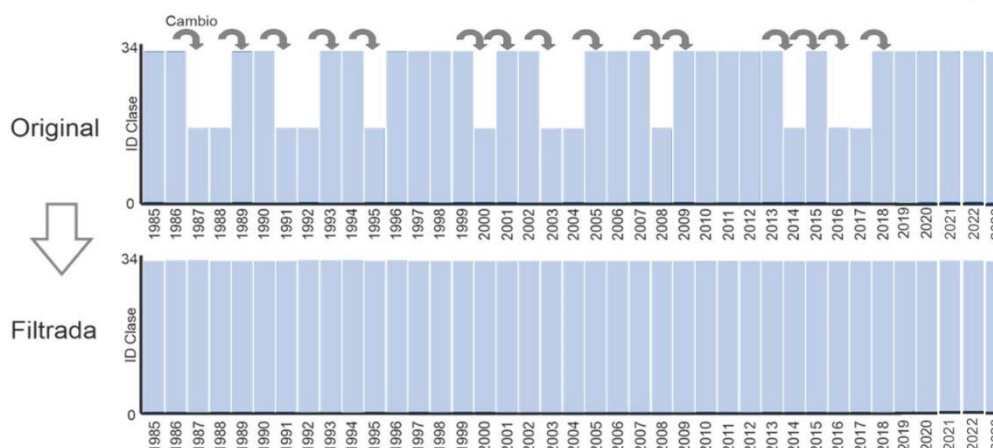


**Figura 14.** Funcionalidad del filtro de frecuencia

### 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 38 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
1	Minería	30	Mapa transversal
2	Glaciar	34	Mapa transversal
3	Salar	61	Mapa general
4	Agua	33	Mapa transversal/ Mapa general
5	Infraestructura Urbana	24	Mapa transversal
6	Pasto	15	Mapa transversal
7	Agricultura	18	Mapa transversal
8	Mosaico de usos (agropecuario)	21	Mapa general
9	Bosque inundable	6	Mapa transversal
10	Formación natural no forestal inundable	11	Mapa transversal/ Mapa general
11	Otra área antrópica sin vegetación	25	Mapa general
12	Formación campestre o herbazal	12	Mapa general
13	Otra formación natural no forestal	13	Mapa general
14	Matorral	66	Mapa general
15	Playa, duna o banco de arena	23	Mapa general

<b>16</b>	Otra área natural sin vegetación	68	Mapa general
<b>17</b>	Afloramiento rocoso	29	Mapa general
<b>18</b>	Bosque abierto	4	Mapa general
<b>19</b>	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 2.0. Las transiciones son calculadas para diferentes periodos, como, por ejemplo:

- Años consecutivos, anuales (por ejemplo, de 2001 a 2002, o de 2013 a 2014, etc.)
- Periodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- Periodos de diez años (por ejemplo, 2000-2010)
- Serie temporal completa (1985-2023)
- Periodos especiales (por ejemplo, 2000-2023)

### **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 2.0 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.

A través del aprendizaje y la experiencia adquirida en la producción de la colección MapBiomás Bolivia 2.0, junto con el intercambio de ideas con los equipos de las diversas iniciativas de MapBiomás, fue posible lograr una mayor eficiencia en términos de tiempo y procesos. A partir del trabajo colaborativo y en red de un equipo multidisciplinar, fue posible llegar a una metodología ajustada a las necesidades particulares de cada territorio.

El uso del algoritmo Random Forest como clasificador de los mapas LULC de la Colección 2.0, combinado con un protocolo de mapeo flexible, permite a cada país de las diversas iniciativas definir su espacio de características y muestras. La aplicación de filtros de post clasificación permitió reducir los efectos asociados a la baja calidad y disponibilidad de imágenes de satélite. Además, la inserción de nuevos temas transversales integrados jerárquicamente hizo posible proporcionar mayor detalle temático en los mapas de uso y cobertura del suelo.

El siguiente paso de este proyecto es ampliar el nivel de detalle de leyenda, mayor precisión en el mapeo y el uso de nuevas tecnologías y herramientas de teledetección que permitan obtener un producto de mayor calidad.

## 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)
- Ibsich 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)

## 6 Apéndices

[Apéndice 1 Transversal de coberturas inundables](#)

[Apéndice 2 Transversal de agricultura](#)

[Apéndice 3 Transversal de pastos](#)

[Apéndice 4 Transversal de infraestructura](#)

[Apéndice 5 Transversal de minería](#)

[Apéndice 6 Transversal de cuerpos de agua](#)

[Apéndice 7 Transversal de glaciar](#)