

# RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN  
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA



## MAPBIOMAS

[AMAZONIA]

*Apéndice - Bolivia*

**Colección 4.0**

**Versión 1.0**



**Noviembre de 2022**

## **Equipo de Especialistas**

Saúl Cuéllar  
Sara Espinoza  
Fabio Cotrina  
Heydi Durán  
Marcelo Char  
Reynaldo Vargas

### ***Especialista en programación para Teledetección***

Rodney Camargo

### ***Responsable del componente técnico del proyecto MapBiomos Amazonía para la Amazonía boliviana***

Sara Espinoza

### ***Responsable del proyecto RAISG-MapBiomos para la Cuenca Amazónica boliviana***

Saúl Cuéllar

## **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)

## Contenido

1. Características generales del país	3
1.1. Bioma Amazonía	5
1.2. Bioma Andes	7
1.3. Bioma Chaco	7
1.4. Bioma Chiquitano	8
1.5. Bioma Tucumano-Boliviano	8
2. Otras iniciativas nacionales de mapeo	8
3. Generación de mosaicos Landsat	11
4. Clasificación	16
4.1. Leyenda	16
4.2. Regiones de clasificación	19
4.3. Descripción metodológica	20
4.4. Temas transversales	21
5. Posclasificación	22
5.1. Gap fill	22
5.2. Filtro temporal	22
5.3. Filtro espacial	23
5.4. Filtro de frecuencia	23
5.5. Filtro de incidencia	24
5.6. Reclasificación	24
5.7. Integración	24
6. Referencias	26

## 1. Características generales del país

La cuenca amazónica en Bolivia abarca una extensión de más de 714 mil km<sup>2</sup>, lo cual representa el 65% de todo el país (Tabla 1). Dentro de estos límites hidrográficos pueden distinguirse cinco biomas (Figura 1A): 1) Amazonía, 2) Andes, 3) Chaco, 4) Chiquitano y 5) Tucumano-Boliviano.

El bioma Amazonía es el más extenso (Figura 1B), abarca 478 mil km<sup>2</sup>, 67% de la cuenca amazónica boliviana; conformado por la Amazonía Alta que se dividió en tres regiones (desde los 1.000 msnm hasta los 4.200 msnm denominada Yungas) y la Amazonía Baja (por debajo de los 1.000 msnm) en nueve regiones. El bioma Andes se dividió en tres regiones, el Chaco en dos regiones, el Chiquitano en tres regiones y finalmente el bioma Tucumano-Boliviano con una región. Haciendo un total de 21 regiones, estas regiones fueron creadas con fines netamente operativos para facilitar el proceso de clasificación de la cobertura y uso del suelo y obtener mejores resultados; para ello se utilizó como base el mapa de Ecoregiones de Bolivia (Ibisch *et al.* 2003).

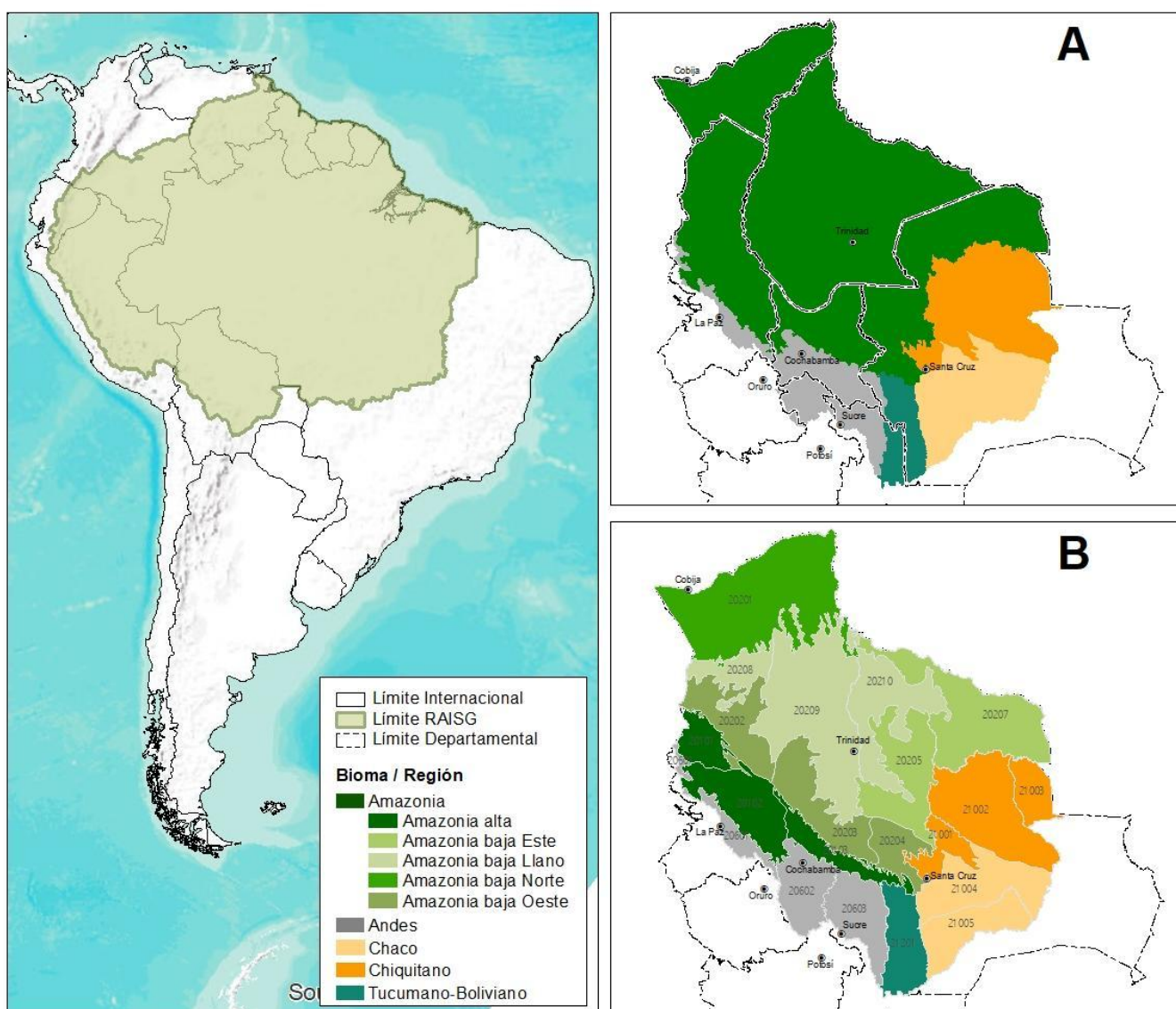
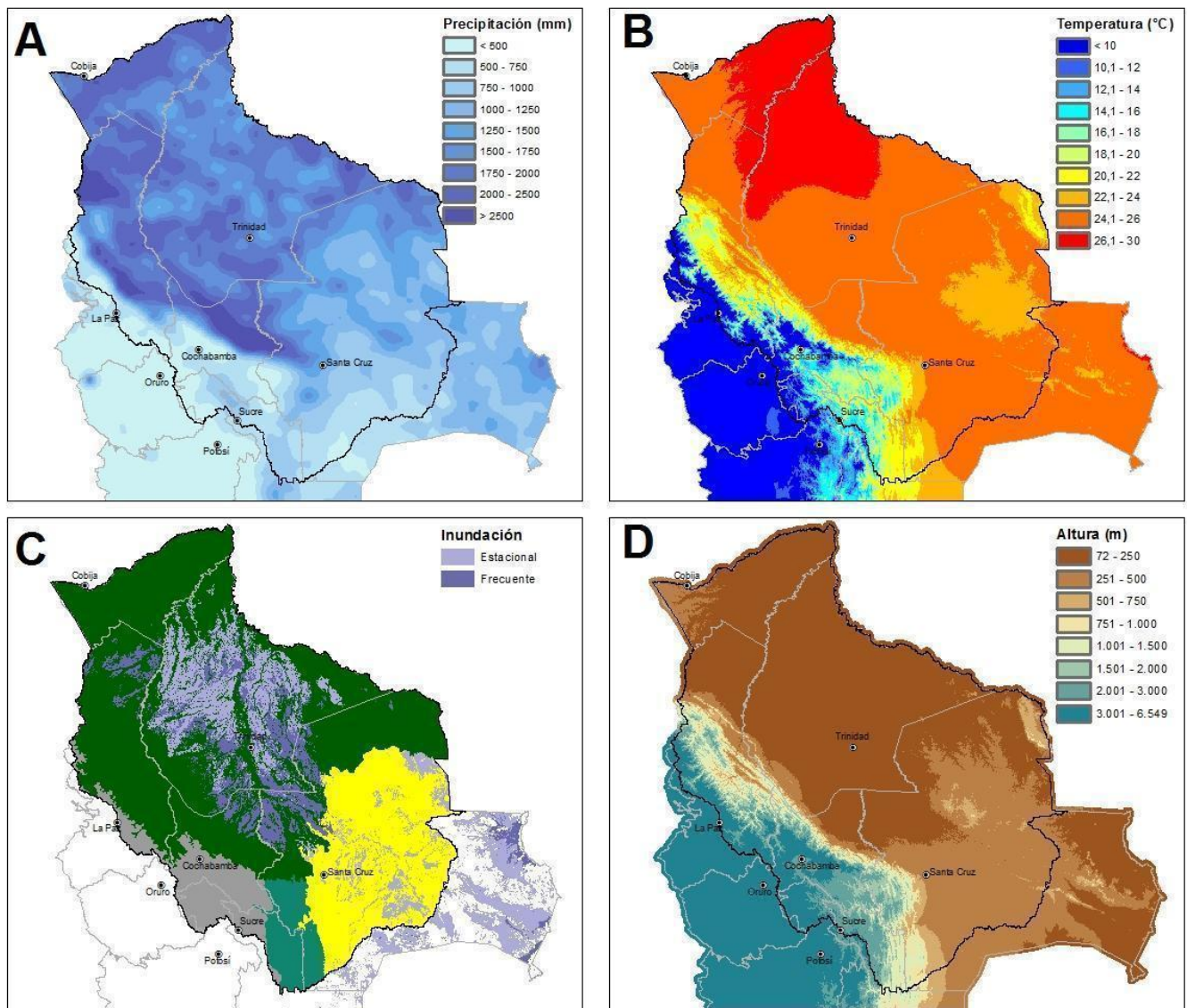


Figura 1. Localización de la cuenca amazónica de Bolivia. A) Biomas; B) Regiones operativas.

Administrativamente la cuenca amazónica se ubica en ocho de los nueve departamentos de Bolivia. Abarca la totalidad del territorio de los departamentos de 1) Pando, 2) Beni y 3) Cochabamba, más del 50% de los departamentos de 4) Santa Cruz y 5) La Paz, y una baja proporción de los departamentos de 6) Chuquisaca, 7) Potosí y 8) Oruro (Figura 1A & B).

Los biomas y regiones 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).



**Figura 2.** Características abióticas de la cuenca amazónica boliviana. A) Precipitación; B) Temperatura; C) Zonas de inundación; D) Pisos altitudinales.

Tabla 1. Biomás y Regiones de la Cuenca Amazónica de Bolivia

Bioma	Región	Superficie	
		km <sup>2</sup>	%
Amazonía	Amazonía Alta	62.129	9%
	Amazonía Baja Norte	93.504	13%
	Amazonía Baja Este	100.379	14%
	Amazonía Baja Oeste	80.258	11%
	Amazonía Baja Llanos	142.135	20%
Andes		63.920	9%
Chaco		64.567	9%
Chiquitano		82.028	11%
Tucumano-Boliviano		25.564	4%
<b>Total Superficie</b>		<b>714.484*</b>	

\* Representa el 65% de la superficie del país.

### 1.1. Bioma Amazonía

- **Región Amazonía Alta (20101, 20102, 20103):** 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 4.200 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 como 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.

- **Región Amazonía Baja Norte, Este y Oeste (20201, 20202, 20203, 20204, 20205, 20206):** Conformado principalmente por fisionomías boscosas siempreverde, así como sabánicas y campestres (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 (campiranas y similares al cerrado sensu stricto).

Las principales actividades económicas que tradicionalmente han sido desarrolladas en esta región 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)

- **Región Amazonía Baja Llanos (20207, 20208, 20209):** Conformada principalmente por fisionomías sabánicas y campestres, y fisionomías boscosas 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 inundadizas 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 siempre verdes, 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 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 como bosques de galería en Brasil. 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 ejercida en esta región 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.

## 1.2. Bioma Andes

- **Región Andes (20601, 20602, 20603):** La fisionomía dominante en esta región 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 pastos, 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, dentro de la región Andina 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. Bioma Chaco

La principal formación boscosas de la presente región es nombrada como 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).



## 1.4. Bioma Chiquitano

La formación forestal de esta región corresponde al bosque chiquitano la cual se asienta sobre el escudo precámbrico, que varía entre semidecídulo y decídulo, y el cerrado *sensu lato*, ambas desarrolladas sobre una fisiografía de llanura ondulada. Bosque medianamente alto con semidecídulos 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 (gasoductos).

## 1.5. Bioma Tucumano-Boliviano

- **Región Tucumano-Boliviano (21201):** La formación forestal de esta región corresponde al denominado Bosque Tucumano-Boliviano (yungas tucumano –boliviano en Argentina), los cuales cambian en estructura, composición y periodicidad según su distribución altitudinal en los andes tropicales, la cual varía entre los 800 y 3.500 m de elevación. Generalmente, por debajo de 2.000 m ( $\pm$ ) de altitud (piso inferior), ocupa la porción oriental del subandino, siendo de tipo semidecídulo, con dosel arbóreo distribuido entre 15 y 20 m de altura, y árboles emergentes que alcanzan poco más de 25 m. Por encima de los 2.000 m ( $\pm$ ) de altitud (piso superior), los bosques son húmedos y siempre verdes, esto gracias a la humedad proveniente de los vientos alisios. Los árboles conforman un dosel distribuido entre los 20 y 25 m de altura, con emergentes que alcanzan hasta 30 m. Así también, en la región es frecuente la aparición de fisionomías predominantemente campestres (pajonales), las cuales se limitan a las cimas de las serranías y/o zonas con suelos poco profundos, o con afloramientos rocosos, generalmente por encima de los 2.000 m de elevación. La presencia de leñosas en esta fisionomía es bastante escasa.

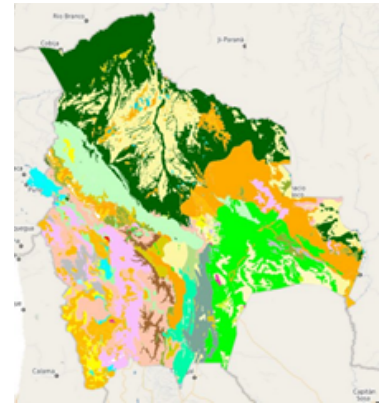
Debido a la topografía accidentada, las actividades económicas tradicionalmente practicadas en esta región son, la ganadería de ramoneo, tanto de vacunos como caprinos y ovinos, extracción selectiva de especies con valor forestal, y las actividades agrícolas a pequeña y mediana escala.

## 2. Otras iniciativas nacionales de mapeo

Las iniciativas principales de generación de información cartográfica a nivel nacional relacionada a la cobertura y uso de suelo son las siguientes:

### **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.



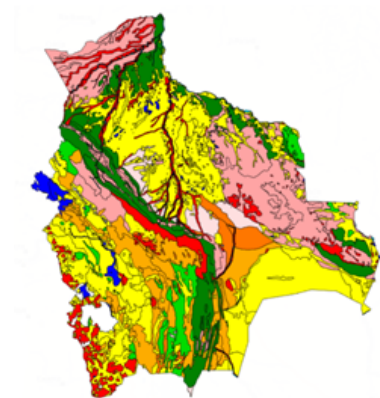
### **Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001**

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.



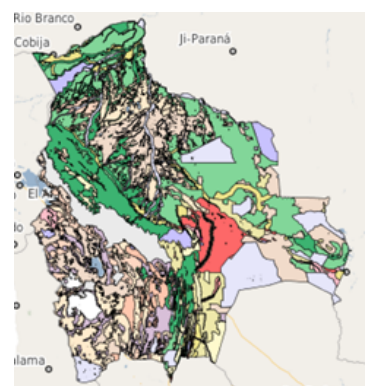
### **Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia, 2001**

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



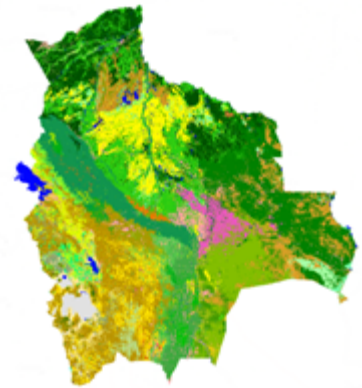
### **Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia, 2002**

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 del mismo de acuerdo a su aptitud, considerando las condiciones socioeconómicas bajo las cuales la población usuaria la tierra. Elaborado por la Unidad de Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación del Desarrollo en el año 2002 a escala 1:1.000.000



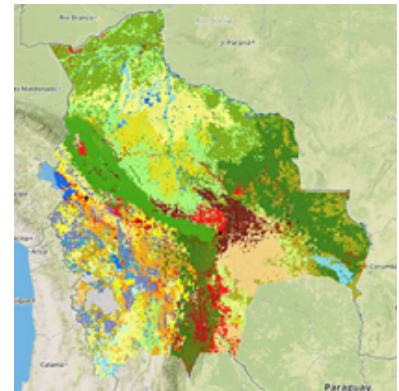
### Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2010

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



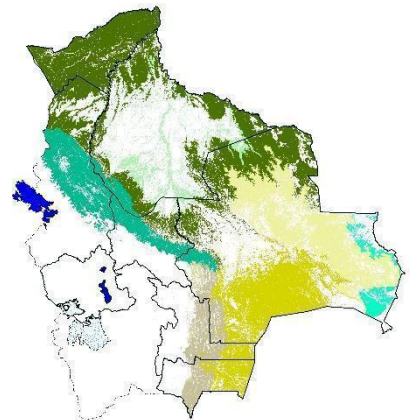
### Mapa de Potenciales Productivas de Bolivia, 2013

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



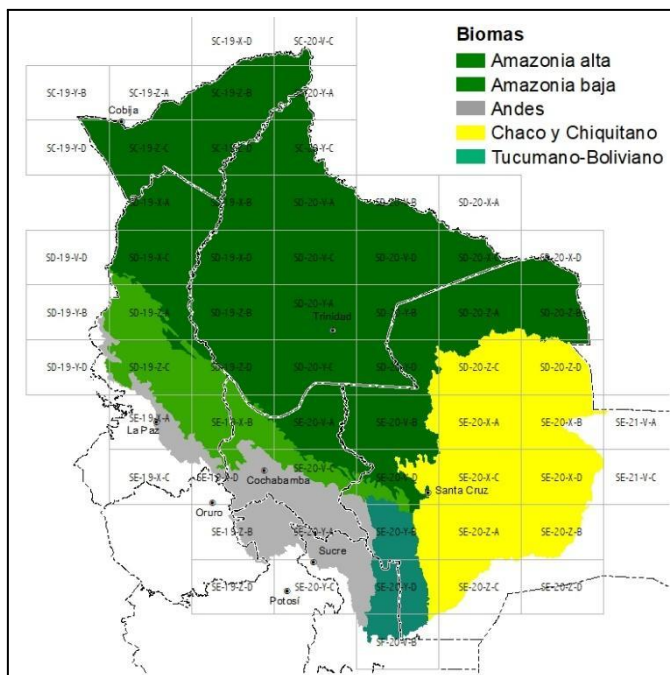
### Mapa Tipos de Bosque de Bolivia, 2013

Este mapa presenta una clasificación por tipo de Bosque según ecosistemas, identificando 9 tipos de bosques: Amazónico, Chiquitano, Seco Interandino, Tucumano Boliviano, Chaqueño, Llanuras Inundables, Pantano, Yungas y Andino. Para esta nueva actualización se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 para la gestión 2016 (al 31 de diciembre), con una resolución espacial de 30 metros. Escala de trabajo 1:80.000. Elaborado en el marco del Proyecto de "Monitoreo de la Deforestación en la Región Amazónica, 2da Fase" por la Sala de Observación Bolivia - SoB - OTCA, en coordinación con la Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal (DGGDF) del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y Autoridad de Fiscalización y Control de Bosques y Tierra (ABT).



### 3. Generación de mosaicos Landsat

Se utilizó la colección 2 de Landsat. La cuenca Amazónica de Bolivia está cubierta por 61 cartas de la grilla del Mapa Mundial al Millón a escala 1:250.000. Cada carta cubre un área de 1°30' de longitud por 1° de latitud. De estas cartas, 16 son compartidas con Brasil y 7 con Perú (Figura 3). Las cartas fueron particionadas por los límites de los biomas: Amazonía (Alta y Baja), Andes, Chaco y Chiquitano (por tener características similares se unieron) y Tucumano-Boliviano, totalizando 101 cartas. Considerando que el período de análisis abarca del año 1985 al 2021, 37 años, fue necesario definir 3.737 mosaicos Landsat en total (101 cartas/biomas x 37 años, Tabla 2).



**Figura 3.** Biomas y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 4.0 MapBiomas Amazonía

Tabla 2. Total, de mosaicos de imágenes satelitales procesadas por biomas para el periodo 1985-2021

<b>Bioma</b>	<b># Total de mosaicos</b>
Amazonía	2.072
Alta	518
Baja	1.554
Andes	629
Chaco y Chiquitano	880
Tucumano-Boliviano	148
<b>Total Mosaicos</b>	<b>3.737</b>

Tabla 3. Resumen de las características de los biomas definidas para la construcción de mosaicos para el periodo 1985-2021

<b>Bioma</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Descripción</b>
Amazonía	478.405	67%	Bosque húmedo siempreverde mediano a bajo (5-15-25/30m); Varios pisos altitudinales con diferentes tipos de vegetación siempreverde; Ceja del Monte (>2.500m) con bosques de neblina; Páramo Yungueño. Bosque húmedo casi siempreverde (30/45m); Bosque Amazónico de inundación (30/45m) de aguas negras y aguas blancas. Bosque húmedo siempreverde (30/35m); Bosque húmedo mayormente siempreverde (30/45m). Bosques siempreverdes en transición hacia bosques semideciduos estacionales del Bosque Seco Chiquitano (>25 30m). Sabanas con gramíneas, ciperáceas y arbustos; Sabanas de tipo cerrado con pajonales altos; Islas de bosque; Bosque de galería
Andes	63.920	9%	Pajonal abierto, más o menos denso o con arbusto; Bofedales; Matorrales; Bosque seco decido (10-20m); Bosques Yungueños montanos; Bosques Yungueños de Polylepis; Bosque Semidecuido Basimontano.
Chaco y Chiquitano	146.596	20%	Bosque semidecuido (15-20/-25m); Bosques de inundación; Mosaico de Cerrado y Sabanas. Palmares. Bosques siempreverdes en las serranías. Uso Agropecuario intensivo. Bosque seco decido bajo (5-15 m); Chaparrales en suelos muy arenosos; Uso Agropecuario intensivo
Tucumano-Boliviano	25.564	4%	Bosques secos deciduos, semihúmedos (semi-) deciduos hasta siempreverde; Bosque de Polylepis, matorrales y pajonales
<b>Total Superficie</b>	<b>714.484</b>		

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 (mayormente de junio a octubre), porcentaje de nubosidad (hasta 30% de nubosidad) y sensor (L5, L7 y L8, se lo define dependiendo del año y de la disponibilidad de imágenes). Tabla 4.

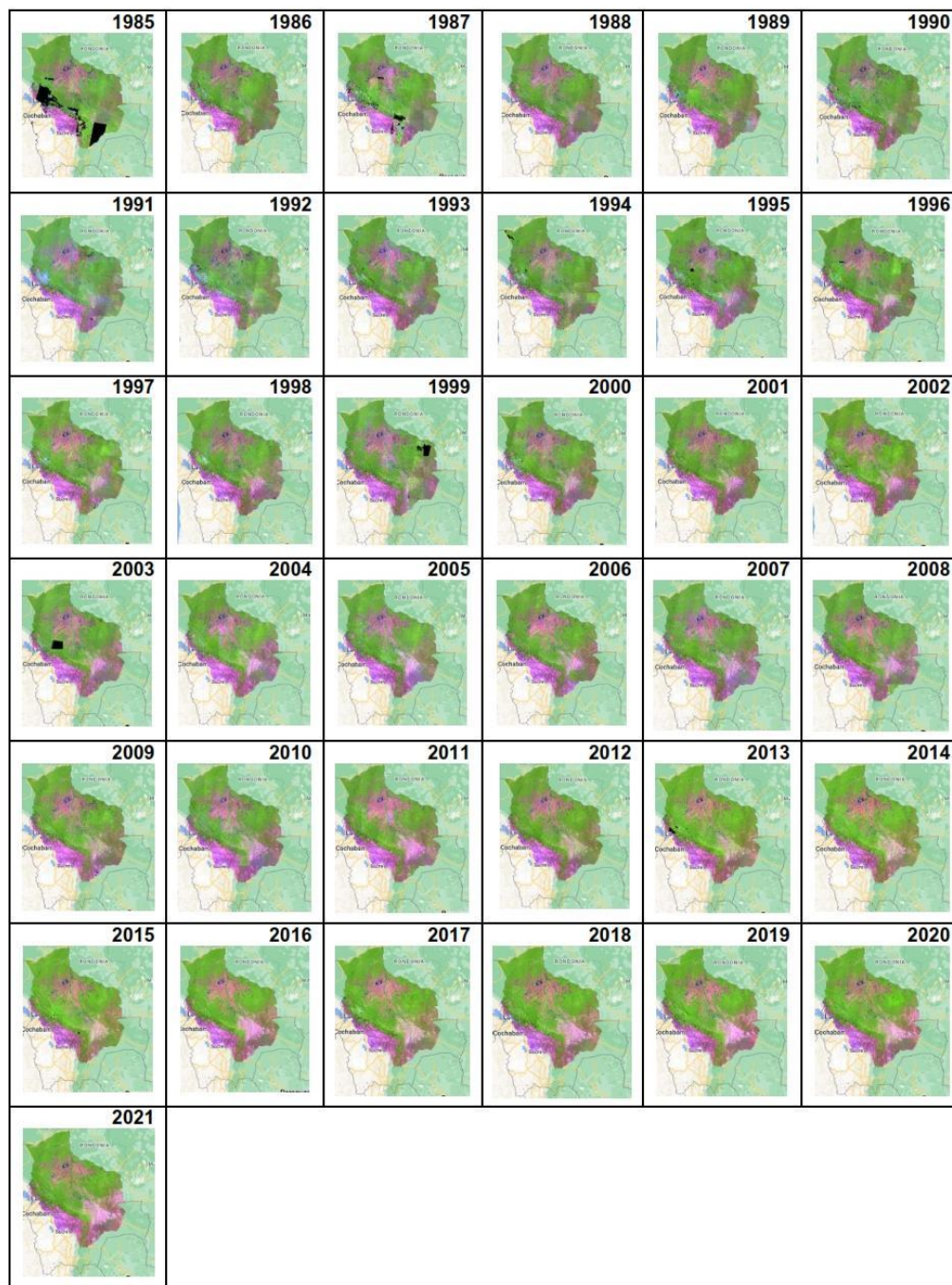
En la Figura 4, se puede apreciar los resultados de la generación de mosaicos para la cuenca amazónica boliviana para los 37 años de estudio, 1985-2021.

Tabla 4. Resumen de parámetros utilizados en la construcción de mosaicos para el periodo 1985-2021

<b>Bioma</b>	<b>Satélite</b>	<b>Año</b>	<b>Periodo</b>	<b>% Nubes</b>
Amazonía	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio – 31 octubre	>30%
	L8	2013-2021		
Andes	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio – 31 octubre	>30%
	L8	2013-2021		
Chaco y Chiquitano	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio – 31 octubre	>30%
	L8	2013-2021		
Tucumano-Boliviano	L5	1985-1999, 2003-2011		
	L7	2002, 2012	1 junio – 31 octubre	>30%
	L8	2013-2021		

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 6. Donde al final se obtuvieron tres categorías: 1) Buena, 2) Regular y 3) Mala.

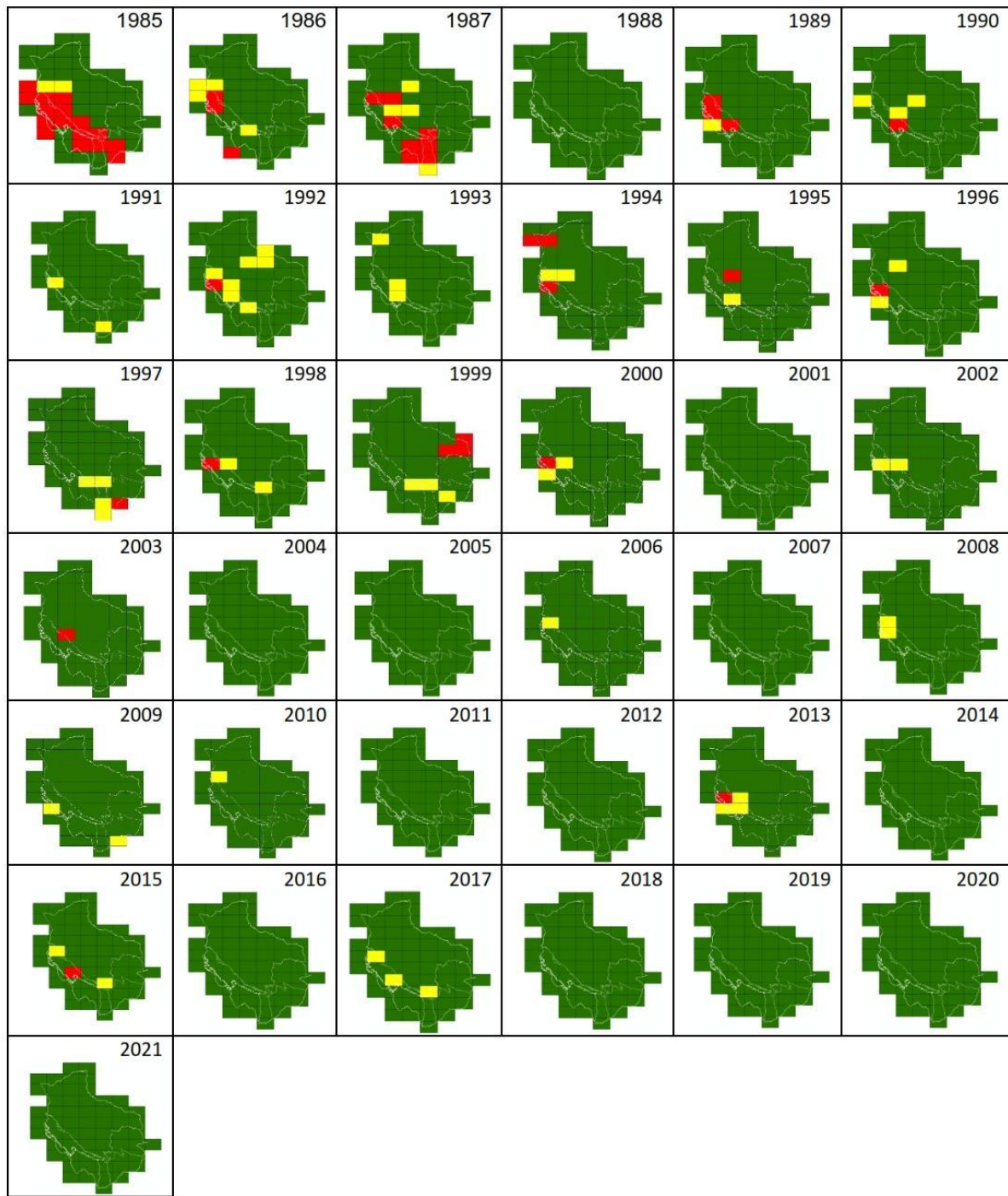
De los 3.737 mosaicos construidos para los 37 años, el 97.2% se evaluaron como bueno, 1.6% como regular y 1.2% como malo o de baja calidad. Siendo los años 1985 y 1987 los años que presentan más mosaicos con mala calidad y están presentes principalmente en las regiones Amazonía Alta y Tucumano-Boliviano (Figura 5).



**Figura 4.** Serie anual de mosaicos de la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía, 1985 – 2021

Tabla 5. Parámetros para la evaluación de calidad de los mosaicos de imágenes Landsat

Calidad	Símbolo	% Cubierto	% Ruido Nubes	% Ruido Bando	% Ruido Sombra Relieve
Buena	B	> 90	< 5	< 5	< 5
Regular	R	65 - 90	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Mala	M	< 65	> 10	> 10	> 10



**Figura 5.** Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía, 1985 – 2021

Calidad de la clasificación Buena ■ Regular ■ Mala ■



## 4. Clasificación

### 4.1. Leyenda

Las clases mapeadas en Bolivia son: Formación forestal (ID 3), Bosque Inundable (ID 6), Formación Natural No Forestal Inundable (ID 11), Formación Campestre (ID 12), Otras Formaciones No Forestales (13), Pastos (ID 15), Agricultura (ID 18), Mosaico de Agricultura o pasto (ID 21), Infraestructura urbana (ID 24), Otra área no vegetada (ID 25), Minería (ID 30), Río, lago u Océano (ID 33) y Glaciar (ID 34). (Tabla 6).

Tabla 6. Clases y subclases de cobertura y uso de la tierra utilizadas por Bolivia en la Colección 4.0 de MapBiomias Amazonía

ID	CLASE (Categoría/Nivel)	COBERTURA / USO
3	Bosque / Formación Forestal (1.1.1.)	Cobertura
6	Bosque Inundable (1.1.4.)	Cobertura
11	Formación Natural No Forestal Inundable (2.1.)	Cobertura
12	Formación Campestre (2.2.)	Cobertura
13	Otra Formación Natural No Forestal (2.4.)	Cobertura
15	Pasto (3.1.)	Uso
18	Agricultura (3.2.)	Uso
21	Mosaico de Agricultura y/o Pasto (3.3.)	Uso
24	Infraestructura Urbana (4.2.)	Uso
25	Otra Área sin Vegetación (4.3.)	Cobertura/Usos
30	Minería (4.4.)	Uso
33	Río, Lago u Océano (5.1.)	Cobertura
34	Glaciar (5.3.)	Cobertura
27	6. No Observado (6)	

Las clases de la leyenda de la Colección 4.0 de MapBiomias Amazonía para Bolivia agrupan a las formaciones vegetales del mapa Ecorregiones de Bolivia propuesta (Ibich *et al.* 2003). La tabla 7 muestra su correspondencia.

Tabla 7. Formaciones vegetales agrupadas por categorías de cobertura y uso de suelo de la leyenda de la Colección 4.0 de MapBiomás Amazonía.

Clase (ID)	Región	Vegetación según ecorregiones (Ibisch <i>et al</i> , 2003)
Formación forestal (ID:3)	Amazonía Alta	Bosque húmedo siempreverde mediano a bajo (5-15-25/30m). Ceja del Monte (>2.500m) con bosques de neblina
	Amazonía Baja	Bosque húmedo casi siempreverde (30/45m)
		Bosque húmedo siempreverde (30/35m). Bosque húmedo mayormente siempreverde (30/45m)
	Andes	Bosques siempreverdes en transición hacia bosques semidecuidos estacionales del Bosque Seco Chiquitano (>25 (30)m)
		Bosque de galería. Islas de bosque
	Chaco	Bosque de Polylepis. Bosque seco deciduo (10-20m)
Chiquitano	Bosque semidecuidos (15-20/-25m)	
	Bosques siempreverdes en las serranías	
	Bosques secos deciduos, semihúmedos (semi-) deciduos hasta siempreverdes. Bosque de Polylepis	
Tucumano-Boliviano	Bosques secos deciduos, semihúmedos (semi-) deciduos hasta siempreverdes. Bosque de Polylepis	
Bosque inundable (ID:6)	Amazonía Baja Chiquitano	Bosque Amazónico de inundación, bosques de várzea (inundados por aguas blancas, ricas en sedimentos y minerales) y bosques de igapó (inundados por aguas negras, ricas en materia orgánica), y en la región Chiquitana los bosques con inundación son los bosques amazónicos que están en la zona norte de la región.
Formación Natural No Forestal Inundable (ID: 11)	Amazonía Baja	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
	Chiquitano	Vegetación que se desarrolla sobre suelos hidromórficos pesados, arcillosos o limosos, con mal drenaje interno hasta estacionalmente inundados, en llanuras aluviales y valles fluviales. Esta vegetación está distribuida en las zonas meridionales y orientales de la Chiquitanía, en la transición hacia el Pantanal y el Chaco
Formación Campestre (ID: 12)	Amazonía Alta	Aparecen en zonas con suelos poco profundos (cimas de serranías), se presenta en zonas >3.000 m.s.n.m

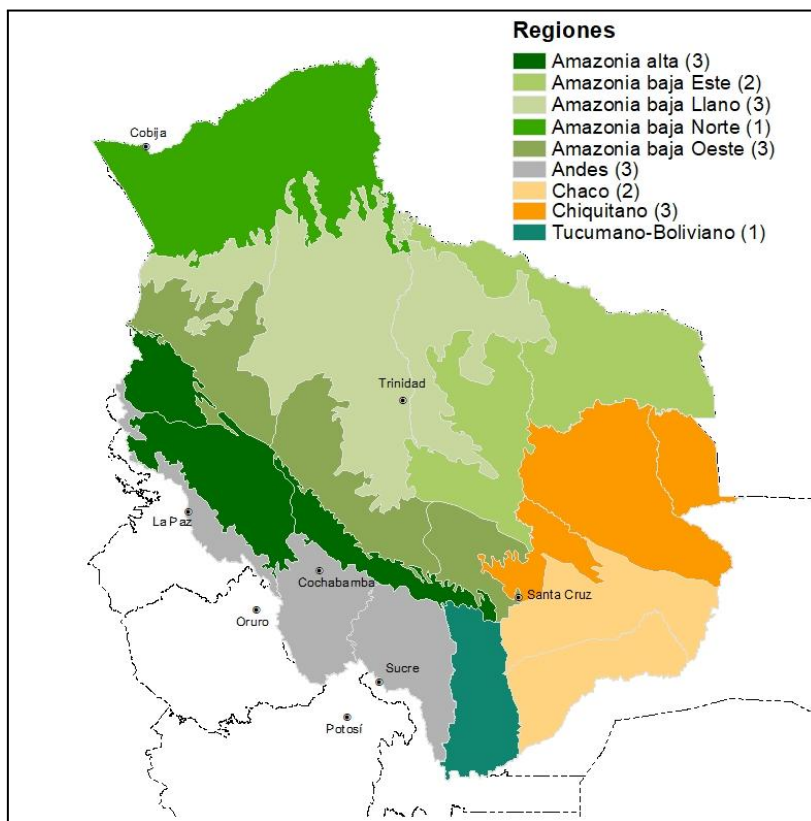
	Amazonía Baja	Sabanas con gramíneas, ciperáceas y arbustos dispersos. Sabanas de tipo cerrado con pajonales altos
	Andes	Pajonales, gramíneas, bofedales que se distribuyen en parches dispersos, se presenta en zonas >3.000 m.s.n.m.
	Chiquitano	Compuesta principalmente por especies herbáceas y subarborescentes discontinuas. El estrato gramíneo-herbáceo forma una capa continua que generalmente no supera los 1 m de altura.
<b>Otra Formación Natural No Forestal (ID: 13)</b>	Amazonía Alta	Varios pisos altitudinales con diferentes tipos de vegetación siempreverde, generalmente <3000 m.s.n.m.
	Andes	Matorrales o arbustos <3000 m.s.n.m.
	Chaco	Mosaico de Cerrado y Sabanas. Palmares, Chaparrales en suelos muy arenosos, en la región del Chaco
	Tucumano-Boliviano	Están conformados por fisionomías predominantemente matorrales y pajonales, las cuales se limitan a las cimas de las serranías y/o zonas con suelos poco profundos, o con afloramientos rocosos.
<b>Mosaico de Agricultura y Pasto (ID: 21)</b>	Amazonía Alta y Baja, Andes, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	Ganadería, agricultura y mosaico de agricultura/ganadería
<b>Pasto (ID 15)</b>	Amazonía Alta y Baja, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano.	Pasturas cultivadas (Brachiarias, Festuca, Alfalfa, Raigras, etc), pasturas para ganadería.
<b>Agricultura (18)</b>	Amazonía Alta y Baja, Chaco, Chiquitano, Andes y Tucumano-Boliviano.	Agricultura extensiva (Soya, sorgo, maíz, trigo), agricultura intensiva, agricultura de secano y agricultura tradicional.
<b>Infraestructura urbana (ID: 24)</b>	Amazonía Alta y Baja, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano	Mancha urbana con estructuración vial
<b>Minería (ID: 30)</b>	Amazonía Alta y Baja Andes	Minería a cielo abierto y aluvial
<b>Otras áreas sin vegetación (ID: 25)</b>	Amazonía Alta y Baja, Andes, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	Área altoandina sin vegetación. Dunas. Playas.

Río, lago u océano (ID: 33)	Amazonía Alta y Baja, Andes, Chaco, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	Laguna. Lagos. Represa, atajado. Río
Glaciar (ID 34)	Andes	Glaciar

## 4.2. Regiones de clasificación

Para efectos de facilitar el mapeo de la diversidad de paisajes comprendidos en el área de estudio, se definieron 21 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 sub-ecorregiones basado en el mapa de Ecorregiones de Bolivia propuesto por Ibisch (2003). Las regiones resultantes se presentan en la Figura 6 y se detallan en la Tabla 8.



**Figura 6.** Mapa de regiones de clasificación en Bolivia para la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía

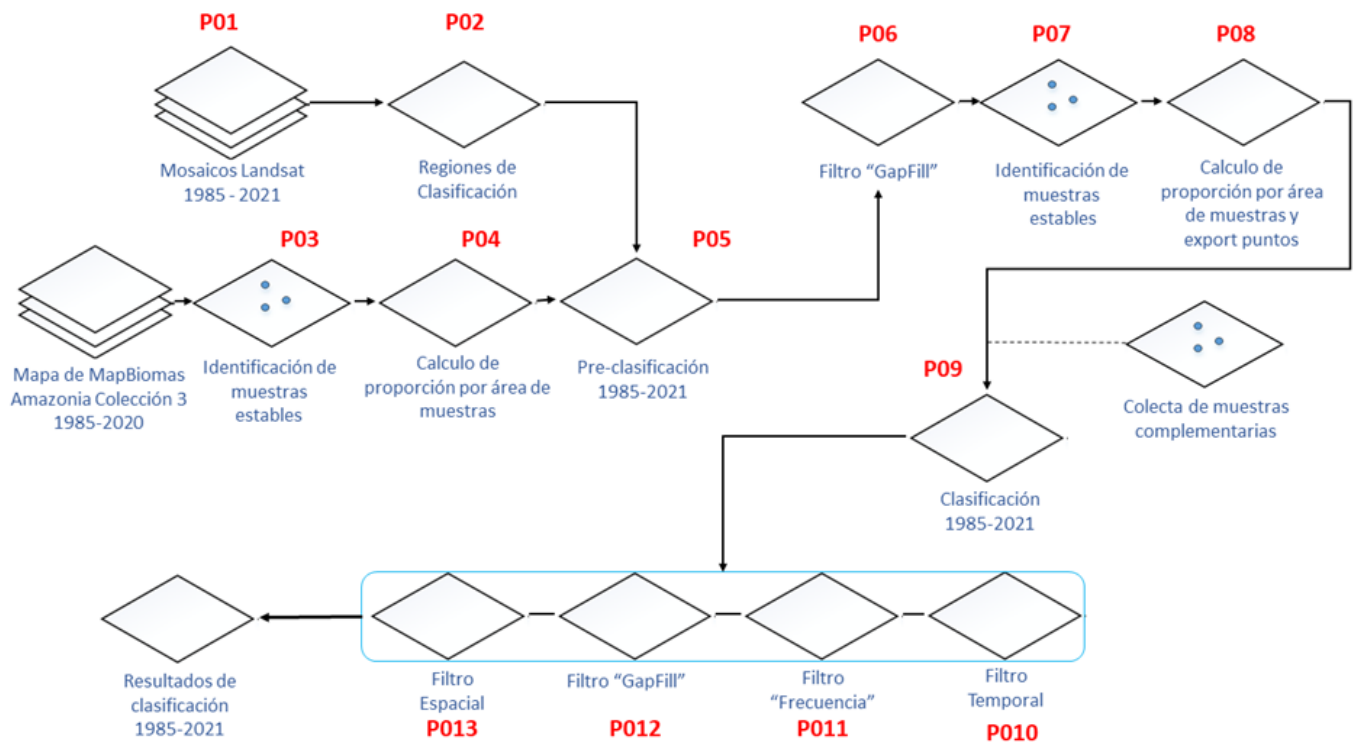
Tabla 8. Regiones de clasificación definidas para Bolivia en el marco de la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía

Región de clasificación	Código	Sub ecorregión
Amazonía alta	20101 20102 20103	Yungas
Amazonía baja Norte	20201	Bosques Amazónicos de Pando Bosques Amazónicos de inundación
Amazonía baja Oeste	20202 20203 20204	Bosques Amazónicos Subandinos Bosques Amazónicos Preandinos
Amazonía baja Este	20205 20206	Bosques Amazónicos de Beni y Santa Cruz
Amazonía baja Llano	20207 20208 20209	Cerrado Paceño Cerrado Beniano Sabanas Inundables de los Llanos de Moxos
Andes	20601 20602 20603	Vegetación Altoandina de la Cordillera Oriental con pisos nivales y subnivales Puna Semihúmeda Bosques Secos Interandinos
Chiquitano	21001 21002 21003	Bosque Seco Chiquitano Cerrado Chiquitano Sabanas Inundables del Pantanal
Chaco	21101 21102	Gran Chaco
Tucumano-Boliviano	21201	Bosque Tucumano-Boliviano Chaco Serrano

### 4.3. Descripción metodológica

La clasificación de la cobertura y uso de la tierra de la Amazonía boliviana se desarrolló utilizando el método de clasificación Random Forest (con corridas de 60 árboles). Inicialmente se utilizaron las muestras estables basadas en la Colección 3.0 para el periodo 1985-2020 (36 años). El siguiente paso que se realizó en base a muestras estables fue la generación preliminar de la clasificación para los 37 años de la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía.

La cadena de procesamiento adoptada para la generación de la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía se encuentra sintetizada en la Figura 7.



**Figura 7.** Flujograma de clasificación para la Colección 4.0 MapBiomias Amazonía.

#### 4.4. Temas transversales

En casos particulares, se detectaron limitaciones en la diferenciación de clases específicas que motivaron la decisión de mapearlas por separado. Este es el caso de las clases: Bosque inundable (ID = 6); Formación Natural No Forestal Inundable (ID = 11); Pastos (ID = 15); Agricultura (ID = 18); Infraestructura urbana (ID = 24); Minería (ID = 30); Agua (ID = 33); y Glaciar (ID = 34). 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”.

## 5. Posclasificación

Después de realizar las clasificaciones para los 37 años, fue necesario aplicar una secuencia de filtros para mejorar la 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.

### 5.1. Gap fill

El filtro de Gap fill se utiliza para rellenar vacíos de información que presentan los mosaicos. El algoritmo identifica píxeles donde no existe información de la serie temporal y rellena estos espacios vacíos con datos de los anteriores 3 años (Figura 8).

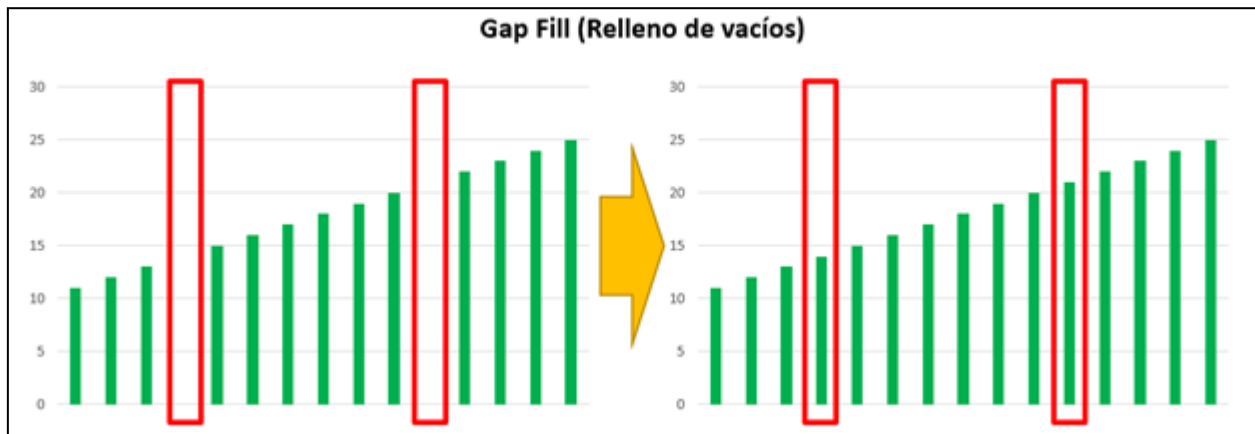


Figura 8. Filtro de relleno Gap fill

### 5.2. 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 (2020) en base a los valores de los dos años anteriores (T-1, T-2). (Figura 9).

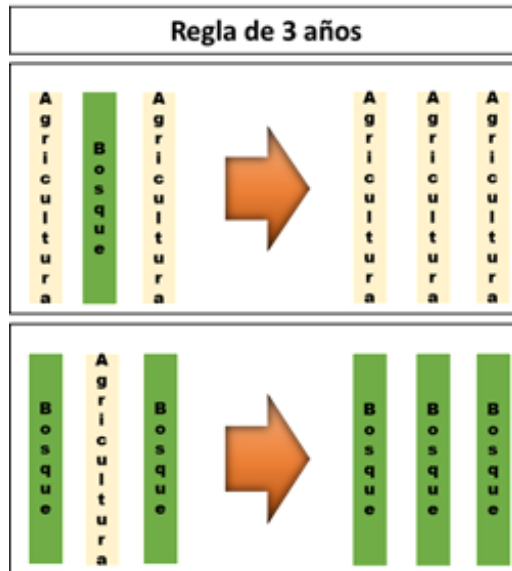


Figura 9. Filtro temporal

### 5.3. 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 4.0 MapBiomás Amazonía, utiliza dos tamaños (kernel 3 y kernel 5) de filtro espacial de acuerdo a la región a ser aplicada. En Bolivia se utilizó el tamaño de kernel 3 (Figura 10).

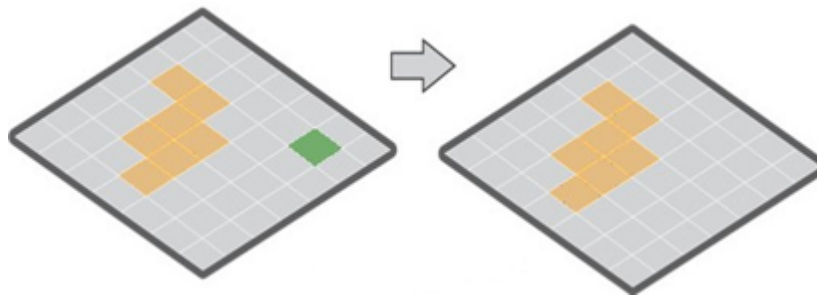


Figura 10. Filtro Espacial

### 5.4. 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 11).



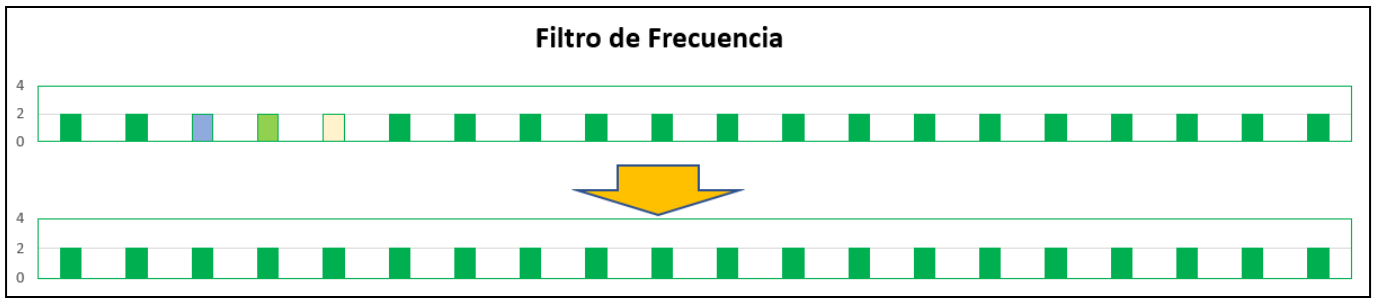


Figura 11. Filtro frecuencia

### 5.5. Filtro de incidencia

No se aplicó.

### 5.6. Reclasificación

La reclasificación se utilizó como estrategia para mejorar los datos. 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.

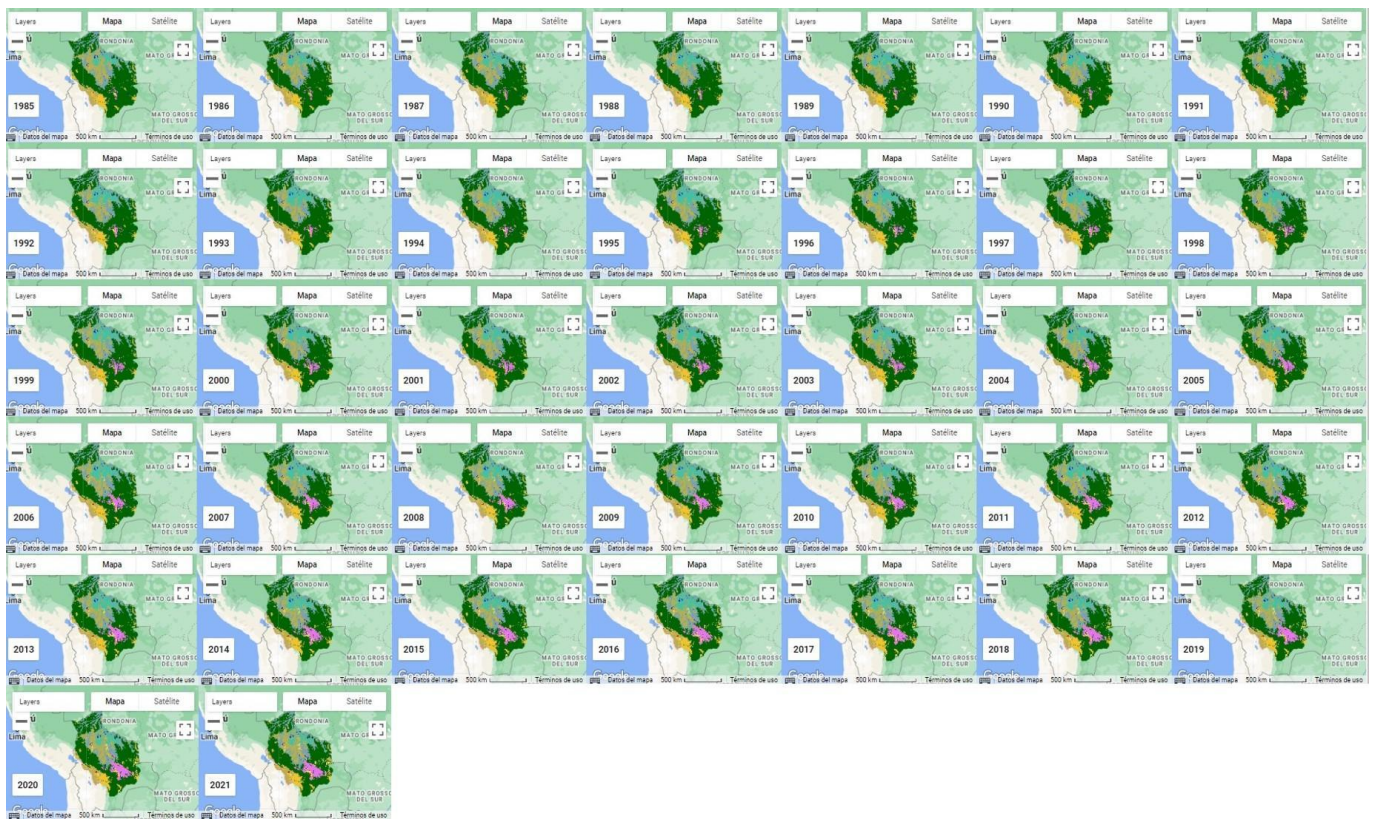
### 5.7. Integración

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 prioridad para la integración de clases

Prevalencia	Nombre de la clase	ID de clase	Fuente
1	Minería	30	Mapa transversal
2	Glaciar	34	Mapa transversal
3	Agua	33	Mapa general / Mapa transversal
4	Infraestructura Urbana	24	Mapa transversal
5	Pasto	15	Mapa transversal
6	Agricultura	18	Mapa transversal
7	Agropecuario (Mosaico de agricultura y pasto)	21	Mapa general
8	Bosque inundable	6	Mapa transversal

9	Formación natural no forestal inundable	11	Mapa transversal
10	Otra área sin vegetación	25	Mapa general
11	Formación campestre	12	Mapa general
13	Otra formación natural no forestal	13	Mapa general
14	Bosque	3	Mapa general



**Figura 12.** Serie anual de análisis según la integración de la clasificación para Colección 4.0 MapBiomás Amazonía.

## 6. Referencias

- CUMAT. (2001). Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- Fao. (1978). Mapa de cobertura y uso de la tierra,1978. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- Ibisch,P., Beck, S.,Gerkmann, B., Carretero, A., 2003. *Ecoregiones y ecosistemas*. Editorial Fundación Amigos de la Naturaleza. Santa Cruz-Bolivia
- Navarro, G. 2002. *Vegetación y unidades biogeográficas de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño (eds). Cochabamba-Bolivia.
- Navarro, G. 2011. *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño (eds). 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)
- UDAPRO & SITAP (2013). Mapa de Potenciales Productivas de Bolivia. Geobolivia. 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)