

RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN  
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA



MAPBIOMAS  
AMAZONÍA

COLECCIÓN 6.0

Bolivia – Apéndice



Septiembre 2024

### **Equipo de especialistas**

Saúl Cuéllar  
Sara Espinoza  
Alejandra Tancara  
Marcelo Char  
Yanine Domínguez  
Carolyn Ordoñez  
Kevin Centellas

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

Rodney Camargo & Marcelo Char

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

Sara Espinoza

### **Coordinador del proyecto MapBiomos Bolivia**

Saúl Cuéllar

### **Gestión proyectos**

Marlene Quintanilla

### **Institución**

Fundación Amigos de la Naturaleza



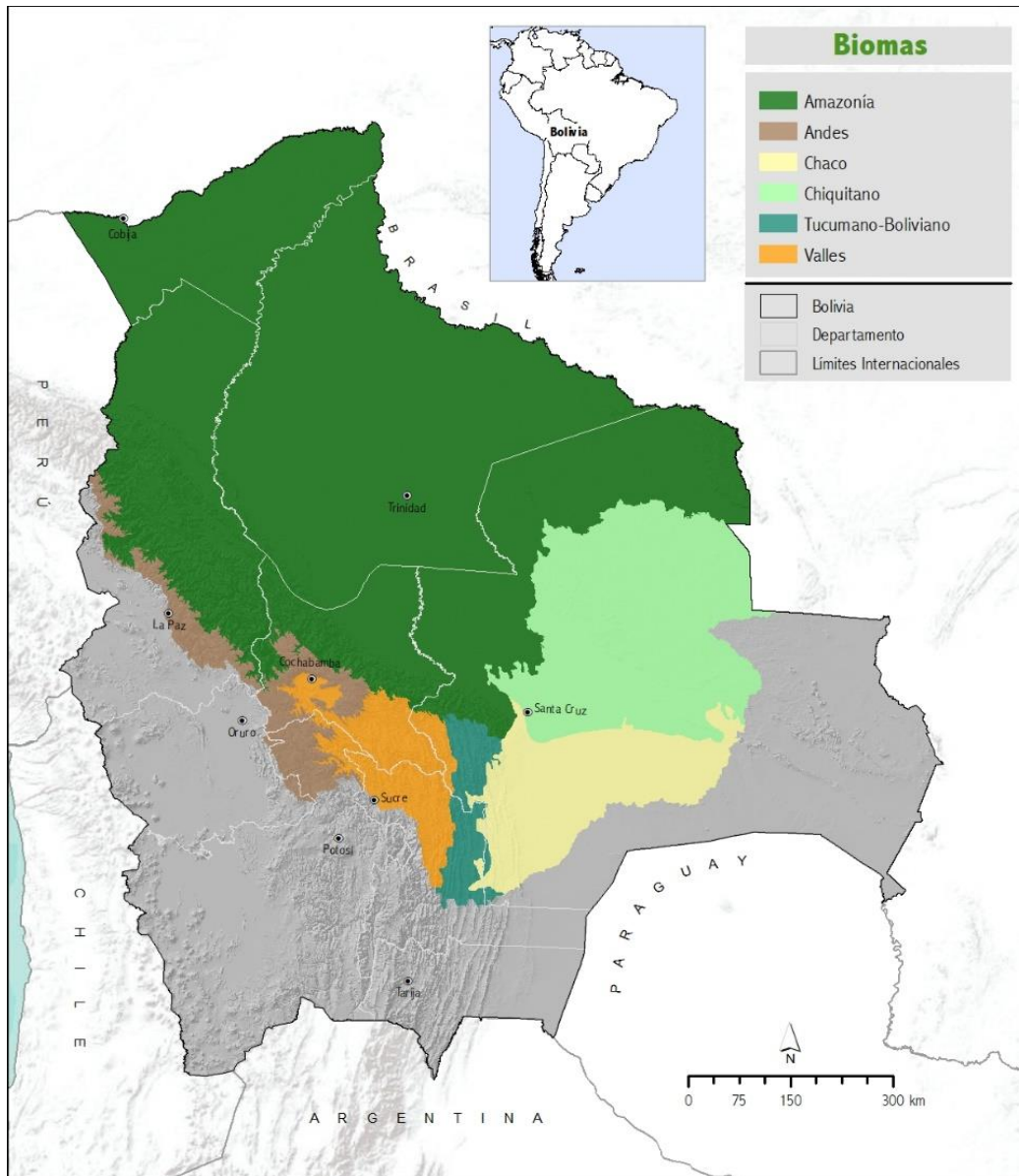
Km. 7 1/2 Doble Vía a La Guardia  
Santa Cruz - Bolivia  
Teléfono: (591-3) 3556800  
[www.fan-bo.org](http://www.fan-bo.org)

## Índice

1.	Características generales del país .....	4
1.1	Bioma Amazonía .....	6
1.2	Bioma Andes .....	7
1.3	Bioma Chaco .....	8
1.4	Bioma Chiquitano.....	8
1.5	Bioma Tucumano-Boliviano .....	9
1.6	Bioma Valles.....	9
2.	Otras iniciativas de mapeo.....	11
2.1	Fuentes mundiales de región.....	11
2.2	Fuentes para la región Amazónica .....	12
2.3	Fuentes para el territorio nacional .....	13
3.	Generación de mosaicos anual .....	16
3.1.	División del espacio de análisis en cartas .....	16
3.2.	Parametrización de mosaicos anuales.....	17
4.	Clasificación.....	21
4.1.	Leyenda .....	21
4.2.	Regiones de clasificación .....	27
4.3.	Colecta de muestra .....	28
4.4.	Temas transversales.....	29
5.	Post clasificación .....	30
1.5.1	Llenado de vacíos de información (Gap Fill) .....	30
5.1	Filtro Temporal.....	30
5.2	Filtro Espacial .....	31
5.3	Filtro de frecuencia .....	31
5.4	Filtro de incidencia.....	32
5.5	Reclasificación.....	32
6.	Integración .....	33
7.	Mapas de transiciones .....	33
8.	Referencias.....	34

## 1. Características generales del país

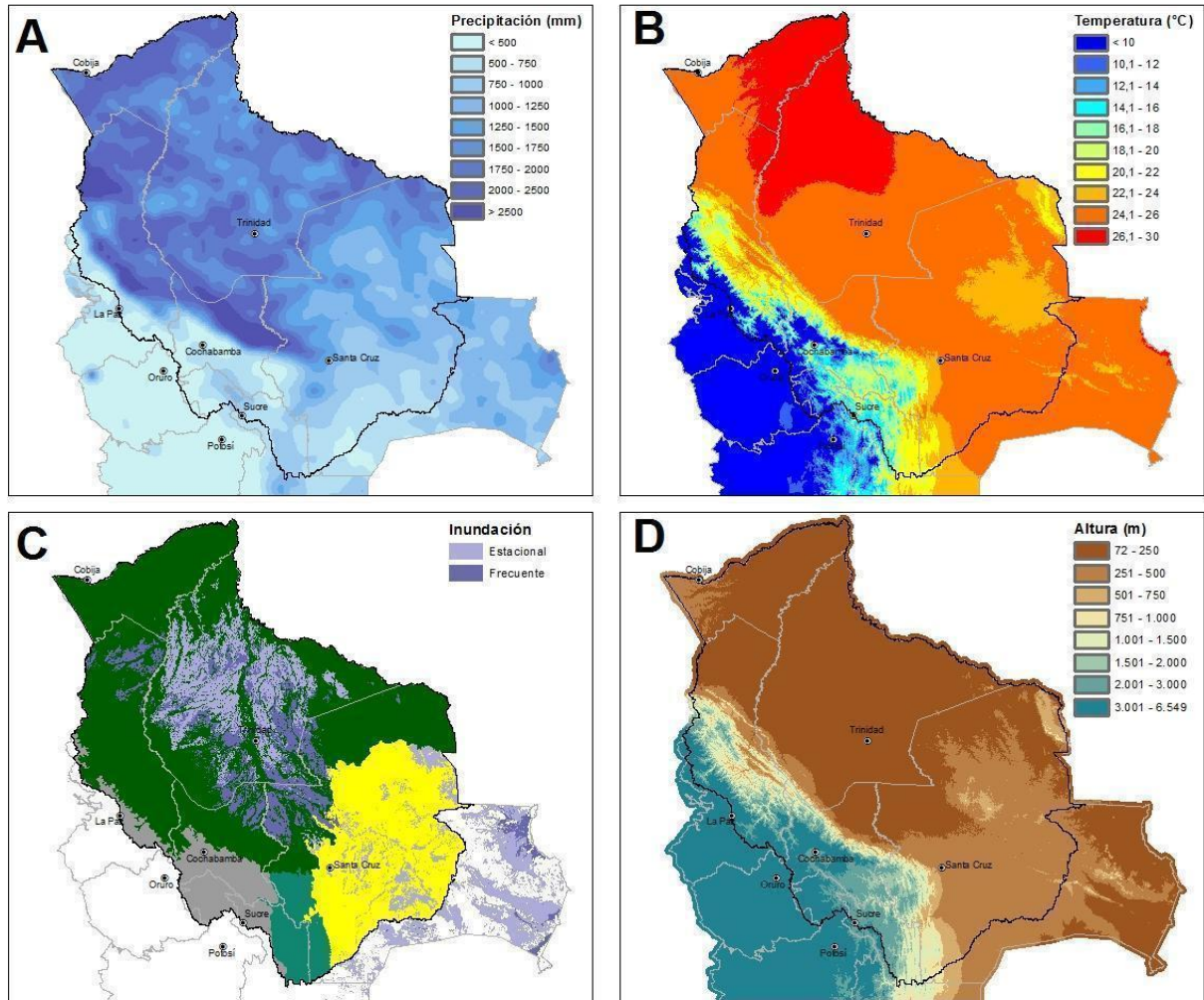
Bolivia tiene una superficie oficial total de 1.098.581 <sup>1</sup> km<sup>2</sup>. El área de trabajo en MapBiomos Amazonía se enfoca en la cuenca amazónica de Bolivia, que abarca más de 714 mil km<sup>2</sup>, lo que equivale al 65% del territorio nacional. En la clasificación de cobertura y uso del suelo de la colección 6.0, se identificaron seis biomas (Figura 1): Amazonía, Andes, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano y Valles.



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

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

Los biomas y regiones identificados en la colección de MapBiomas Amazonía Colección 6.0 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 la cuenca amazónica boliviana. A) Precipitación; B) Temperatura; C) Zonas de inundación; D) Pisos altitudinales.

El bioma más extenso es el de Amazonía, ocupa el 67% de la superficie total y se ubica parcialmente en cinco de los nueve departamentos del País. Mientras que Tucumano-Boliviano posee la superficie más reducida y ocupa el 2,2 % localizado al Oeste del departamento de Santa Cruz y Chuquisaca.

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

**Tabla 1.** Biomas y Regiones de la Cuenca Amazónica de Bolivia

Bioma	Superficie	
	km <sup>2</sup>	%
Amazonía	477.936	67%
Andes	30.852	4%
Chaco	54.540	8%
Chiquitano	102.669	14%
Tucumano-Boliviano	15.422	2%
Valles	33.066	5%
<b>Total Superficie</b>	<b>714.484*</b>	

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

### 1.1 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 (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 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 (20201, 20202, 20203, 20204, 20205, 20206, 20210):** 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 tradicionales incluyen la extracción de productos forestales, pesca comercial y ganadería con forrajes nativos. Sin embargo, en años recientes, ha aumentado la ganadería con pasturas introducidas, causando cambios en el uso del suelo. También se practica la agricultura a pequeña escala (coca, café, cítricos) y a gran escala en diferentes zonas de la Amazonía.

- **Amazonía Baja Llanos (20207, 20208, 20209):** 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.

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 a las inundaciones estacionales, la ganadería extensiva es la principal actividad económica, aprovechando las pasturas nativas de los campos y sabanas. El avance tecnológico en la producción de carne y leche ha impulsado el crecimiento de la ganadería, favorecida por su menor exigencia en la calidad de los suelos. Además, la normativa legal y programas de agricultura mecanizada han promovido el cultivo de arroz en la zona este, convirtiéndolo en el más común.

## 1.2 Bioma Andes

- **Región Andes Seco y Semihúmedo (20601, 20602, 20603):** 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 Bioma Chaco

- **Región Chaco (21101, 21102, 21105):** 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).

### 1.4 Bioma Chiquitano

- **Región Chiquitano (21001, 21002, 21003):** 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).

### 1.5 Bioma Tucumano-Boliviano

- **Región Tucumano-Boliviano (21201):** 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 hidrocarburíferos. Ampliación de la actividad ganadera y agrícola.

### 1.6 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.

**Tabla 2.** Resumen de las características de la cobertura y uso de suelo de los biomas bolivianos.

<b>Bioma</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>) (% País)</b>	<b>Descripción de la cobertura</b>	<b>Principales usos y amenazas</b>
<b>Amazonía</b>	477.936 67%	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 4.200 m. Este bioma abarca siete áreas protegidas nacionales como ser Madidi, TIPNIS, Carrasco, entre otros.	Agricultura a pequeña y a gran escala; ganadería intensiva y en su mayoría extensiva. Pesca comercial. Extracción de productos forestales maderables y no maderables.  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>	30.852 9%	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>Chaco</b>	54.540 8%	Bosque chaqueño, se caracteriza por ser deciduos o semideciduo microfoliado y espinoso, con un dosel arbóreo arbustivo de entre 3 a 5 metros de altura. Asimismo, fisionomías de sabanas y herbazal.	Agricultura pequeña y a gran escala y ganadería. Extracción de leña.
<b>Chiquitano</b>	102.669 14%	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. Uso de la madera, actividad minera y transporte de productos petroleros (gasoducto). Para ambos biomas las amenazas son: 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>Tucumano-Boliviano</b>	15.422 2%	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, húmedos y siempreverdes, 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 hidroeléctricos e hidrocarburíferos. Ampliación de la actividad ganadera y agrícola.
<b>Valles</b>	33.066 4%	Formación forestal compuesta por Bosque seco deciduo (10-20 m). Parcialmente con presencia de suculentas columnares muy altas	

## 2. 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.

### 2.1 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.

## 2.2 Fuentes para la región Amazónica

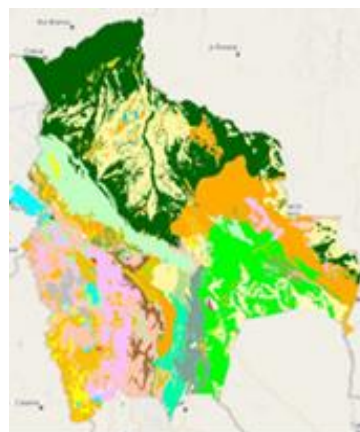
- **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean:** Presenta y esboza la base conceptual para una unidad de clasificación de los sistemas ecológicos. Estos representan grupos recurrentes de comunidades biológicas que se encuentran en entornos físicos similares y están influenciados por procesos 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.
- **MapBiomás Amazonía Colecciones de Cobertura y Uso,** es un estudio a partir de imágenes de satélite Landsat que genera mapas anuales de cambios de uso y cobertura de la tierra con datos de la serie de Landsat que va desde el 1985 al 2023 con una resolución espacial de 30 metros a escala 1:100.000, lo cual representa una ventaja a la hora de hacer un seguimiento a diferentes coberturas debido a su alcance temporal y temático. Para esta colección se continuó con la implementación de las imágenes generadas por el satélite Landsat 9, las cuales continuaron representando un mejoramiento en la calidad del dato para los dos últimos años de la serie. Del mismo modo, orientados en mejorar la calidad de los resultados en la interpretación de coberturas, la Colección 6 se hizo uso de imágenes satelitales proveedoras de información adicional para la validación de la clasificación de las coberturas del suelo. Entre estas se destacan imágenes satelitales de alta resolución espacial y temporal como las provistas por ESRI, ESA, Planet-NICFI y Google, a través de las cuales era posible la verificación del tipo de cobertura.

### 2.3 Fuentes para el territorio nacional

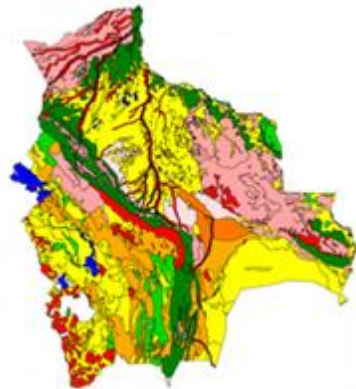
- **Mapa de cobertura y uso de la tierra, 1978:** El mapa representa las características ambientales, uso de suelo y recursos naturales del territorio boliviano. Generada en base a las primeras imágenes del satélite Landsat del año 1978, a través de la metodología Land Cover Classification System (Sistema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



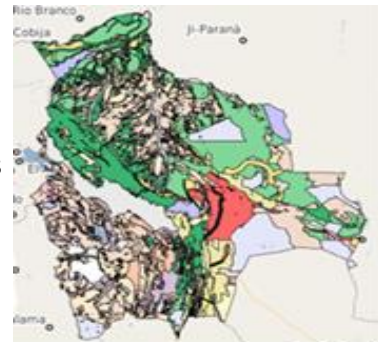
- **Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa representa los elementos naturales y antrópicos de la superficie terrestre, la información que describe es un importante insumo para la planificación y modelamiento. Fue elaborado por la Superintendencia Agraria en base a un monitoreo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



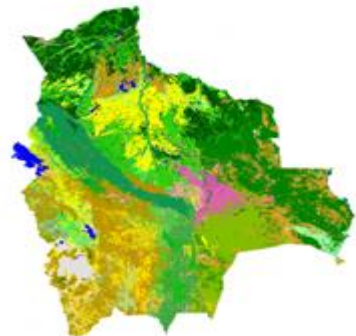
- **Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia, 2001:** El mapa presenta la clasificación de tierras según su capacidad de uso (CUMAT). Se basa en los efectos combinados del clima y las características permanentes de los suelos, capacidad productiva de la tierra, limitaciones en el uso de la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



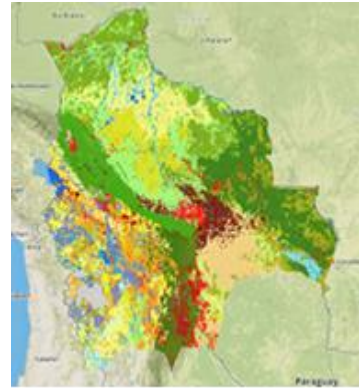
- **Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia, 2002:** La zonificación agroecológica y socioeconómica (ZAE) representa zonas de uso sostenible de la tierra y sus recursos naturales renovables. La zonificación busca ordenar el uso, el mismo de acuerdo con su aptitud, considerando las condiciones socioeconómicas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



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



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

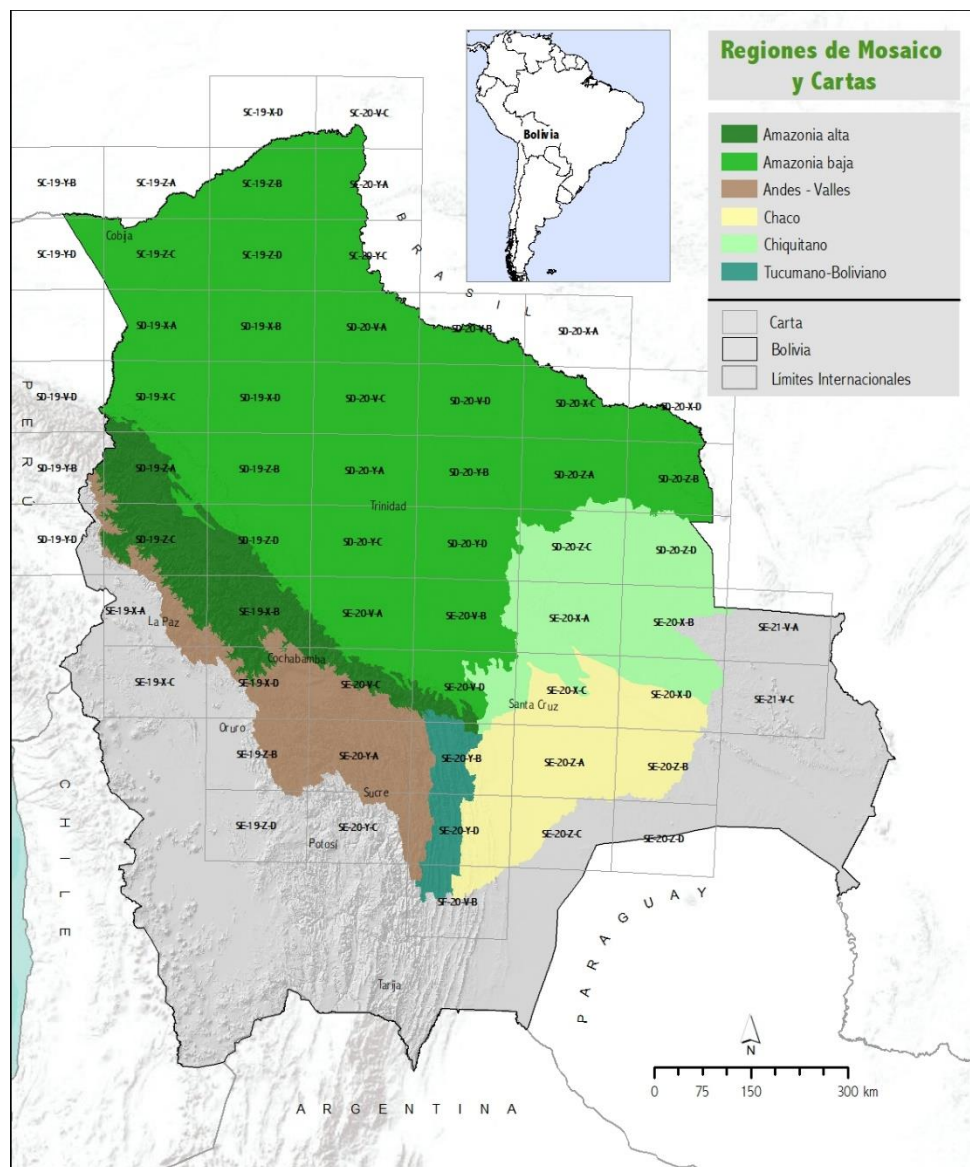




### 3. Generación de mosaicos anual

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

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 2023 con 39 años, fue necesario definir 3.939 mosaicos Landsat en total (101 cartas/biomas x 39 años, Tabla 3).



**Figura 3.** Regiones de mosaicos y cartas en Bolivia utilizadas en la Colección 6.0 de MapBiomas Amazonía.



**Tabla 3.** Total, de mosaicos de imágenes satelitales procesados para el periodo 1985-2023

Regiones de Mosaico	Cantidad de imágenes	Total de mosaicos
Amazonia Alta	14	546
Amazonia Baja	41	1.599
Andes y Valles	17	663
Chaco	11	429
Chiquitano	14	546
Tucumano-Boliviano	4	156
<b>Total Mosaicos</b>	<b>101</b>	<b>3.939</b>

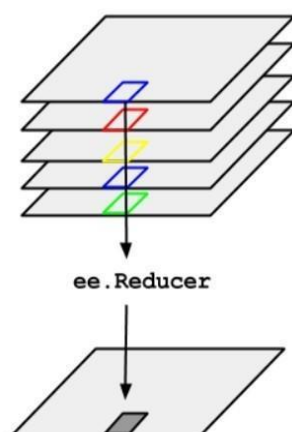
**Nota.** El número total de mosaicos se refiere a lo largo de 39 años.

### 3.2. 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 4.



Nota. Google, 2020

**Figura 4.** Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes<sup>2</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 mosaicos para la cuenca amazónica boliviana para los 39 años de estudio, 1985-2023 en la Tabla .

**Tabla 4.** Resumen de parámetros utilizados en la construcción de mosaicos.

Región de Mosaico	Satélite	Año	Periodo	% Nubes
Amazonía	L5	1985-1999, 2003-2011	1 junio – 31 octubre	>30%
	L7	2002, 2012		
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		
Andes y Valles	L5	1985-1999, 2003-2011	1 enero – 30 diciembre	>30%
	L7	2002, 2012		
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		

<sup>2</sup> Tomado de: [https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers\\_image\\_collection](https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_image_collection)

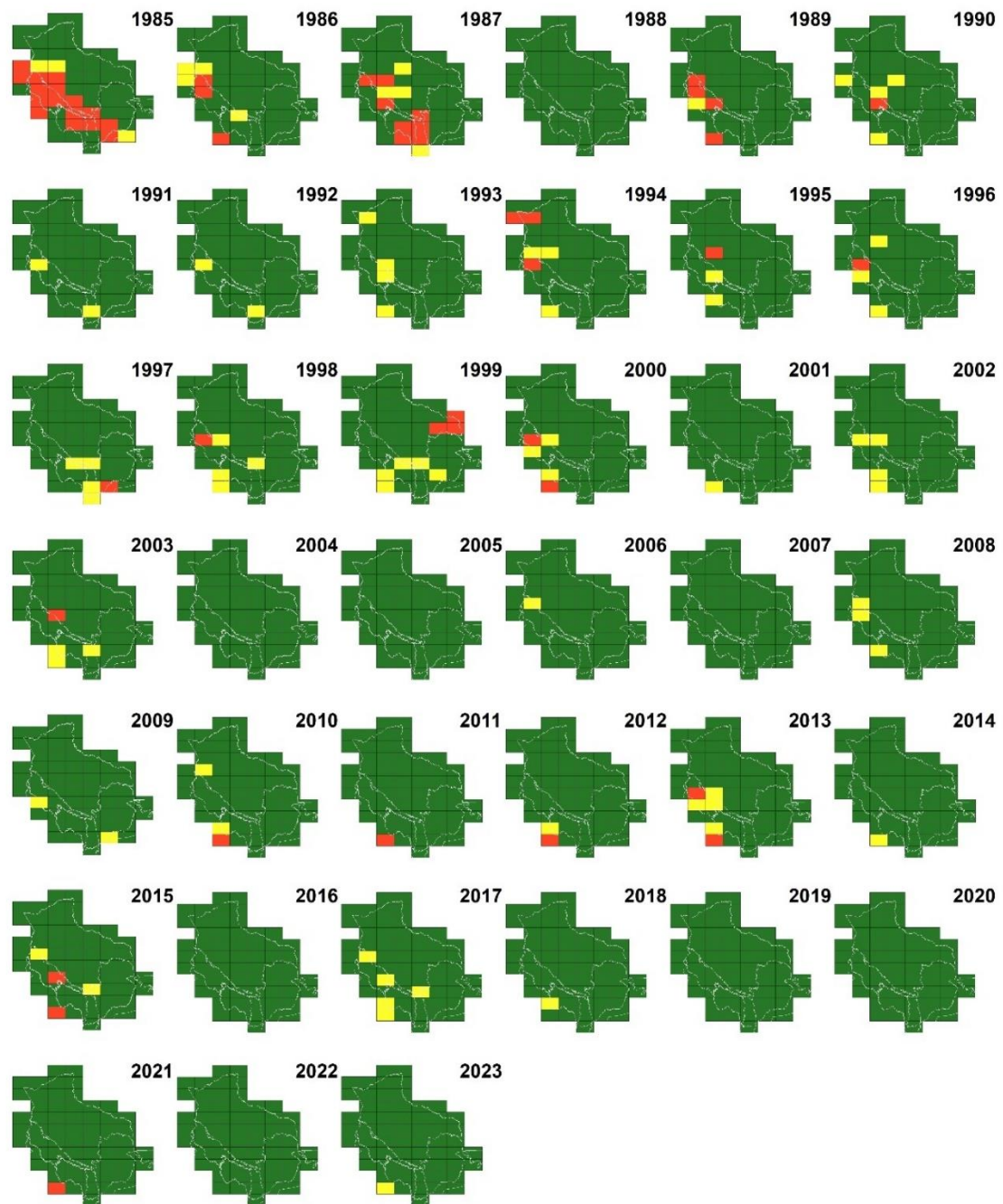
Chaco y	L5	1985-1999, 2003-2011		
Chiquitano	L7	2002, 2012	1 junio – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2012-2023		
Tucumano-	L5	1985-1999, 2003-2011	1 enero – 30 diciembre	
Boliviano	L7	2002, 2012	1 abril – 30 diciembre	>30%
	L8	2013-2023		
	L9	2013-2023		

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

**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	> 88	< 5	< 5	< 5
Regular	R	> 65 - 95	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Mala	M	< 65	> 10	> 10	> 10

De los 3.939 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 ).



Calidad en la Clasificación **B** Bueno **R** Regular **M** Malo

**Figura 5.** Serie anual de la calidad de mosaicos de la Colección 6.0 MapBiomas Amazonía.

## 4. Clasificación

### 4.1. Leyenda

En la colección MapBiomias Colección 6.0 para la cuenca amazónica boliviana se mapearon 17 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.** Clases y subclases de cobertura y uso de la tierra utilizadas por Bolivia en la Colección 6.0 de MapBiomias Amazonía

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	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, Chiquitano y Tucumano-Boliviano	29	#ffaa5f	
2.4. 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	Todos	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	Todos	23	#ffa07a	
4.2. Infraestructura urbana	Antrópico	Todos	24	#d4271e	
4.3. Minería	Antrópico	Amazonía, Andes, Chiquitano y Valles	30	#9c0027	
4.4. Otra área natural sin vegetación	Natural	Todos	68	#e97a7a	
4.5. 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>			<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 MapBiomias Amazonía Colección 6.0

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 semidecíduos 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 m.
	Chaco	Presenta conjunto de bosques (xéricos de las llanuras del Chaco, transicionales del Chaco a Chiquitanía 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, semidecíduos, 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.
	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.
	Valles	Bosques de <i>Polylepis altimontanos</i> siempreverdes estacionales, distribuidos entre los 2.400-3.900 m de altitud.
Bosque abierto	Amazonía	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.
	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 graminoides que se desarrolla sobre suelos arcillosos y limosos mal drenados hasta estacionalmente inundados con microrelieve de montículos, pantanos herbáceos y flotantes.
	Tucumano-Boliviano	Las inundaciones son ocasionadas por el desborde de los ríos que forman mazamorra 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.
	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.
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.
	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.
	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).
	Valles	Áreas con vegetación arbustal subhúmedo montano y herbazal presentes mayor al 65% y de manera dispersa tholares y matorrales.
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.
	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.
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.
	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.



	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.
	Valles	Áreas conformadas por varias comunidades de arbustales bajos, chaparrales cerrados y dispersos.
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, chíca, yuca, entre otros.
Pasto (ID:15)	Amazonía, Andes, Valles, Chaco, Chiquitano, Tucumano-Boliviano	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 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
Glaciar (ID:34)	Andes	Área de cobertura o masa de hielo permanente, localizados en las cumbres andinas, producto de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve.

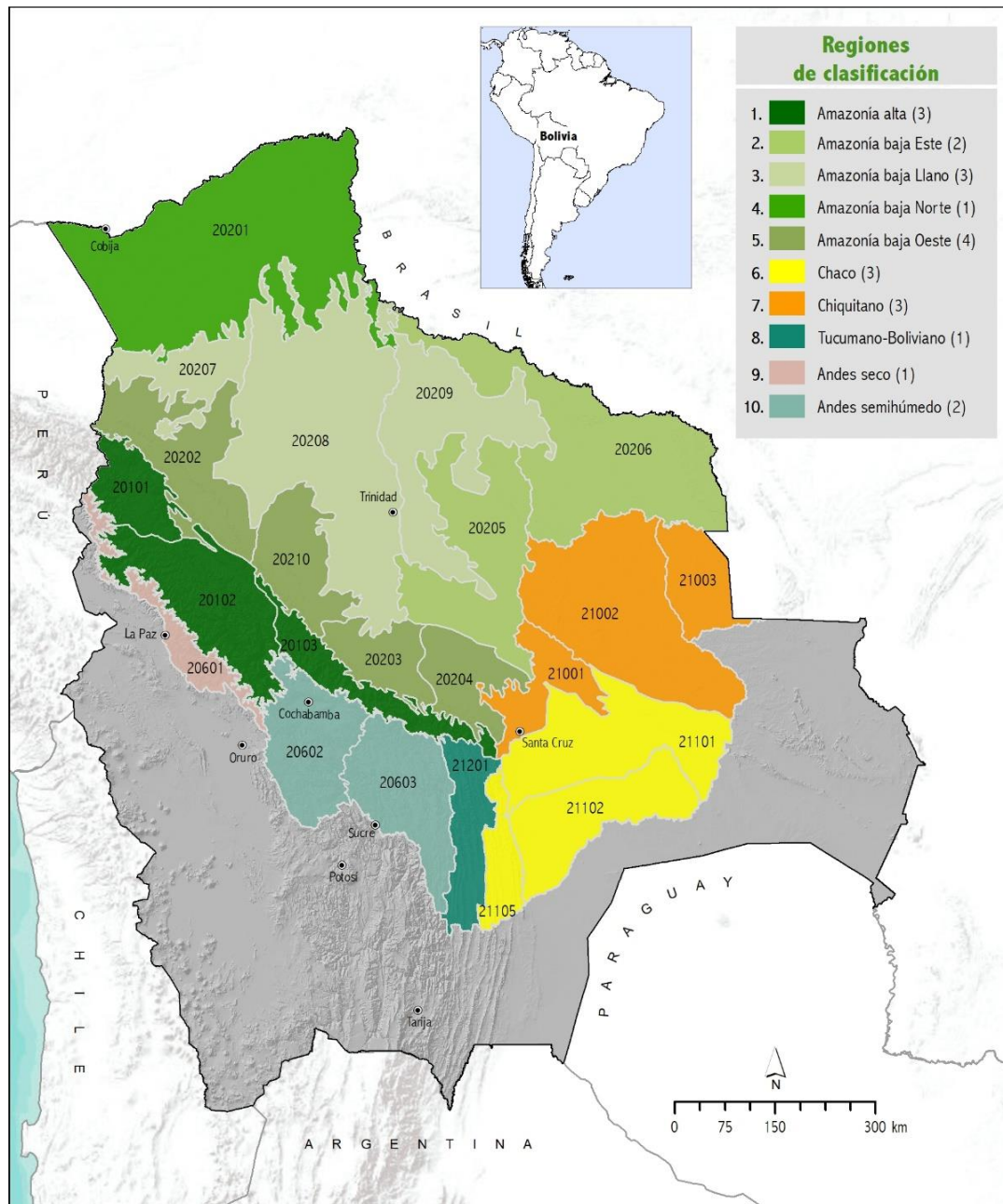
#### 4.2. Regiones de clasificación

Para efectos de facilitar el mapeo de la diversidad de paisajes comprendidos en la cuenca amazónica de Bolivia, se definieron 23 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 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 en la cuenca amazónica de Bolivia

Región de clasificación	Código de las regiones operativas	Descripción
<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
<b>Amazonía baja Oeste</b>	20202	Bosques Amazónicos Subandinos Bosques Amazónicos Preandinos
	20203	
	20204	
	20210	
<b>Amazonía baja Este</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
<b>Chiquitano</b>	21001	Bosque Seco Chiquitano
	21002	Cerrado Chiquitano
	21003	Sabanas Inundables
<b>Chaco</b>	21101	Gran Chaco: Los bosques varían según la humedad y suelos drenados o no.
	21102	
	21105	
<b>Tucumano-Boliviano</b>	21201	Bosque Tucumano-Boliviano



**Figura 6.** Regiones operativas de clasificación.

#### 4.3. 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.

#### 4.4. 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);
- 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 ).

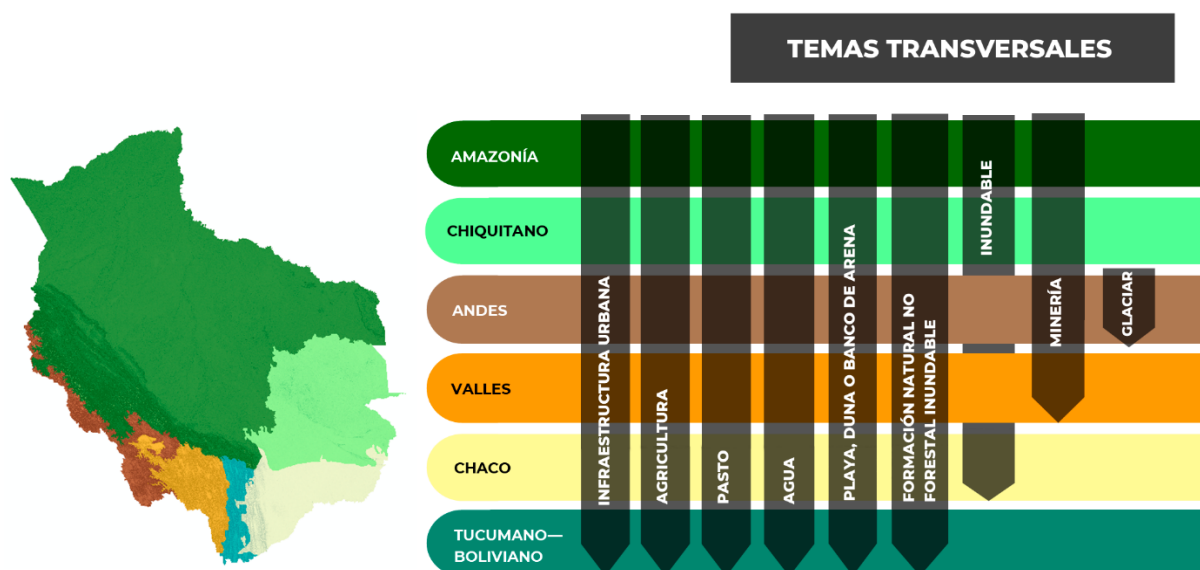


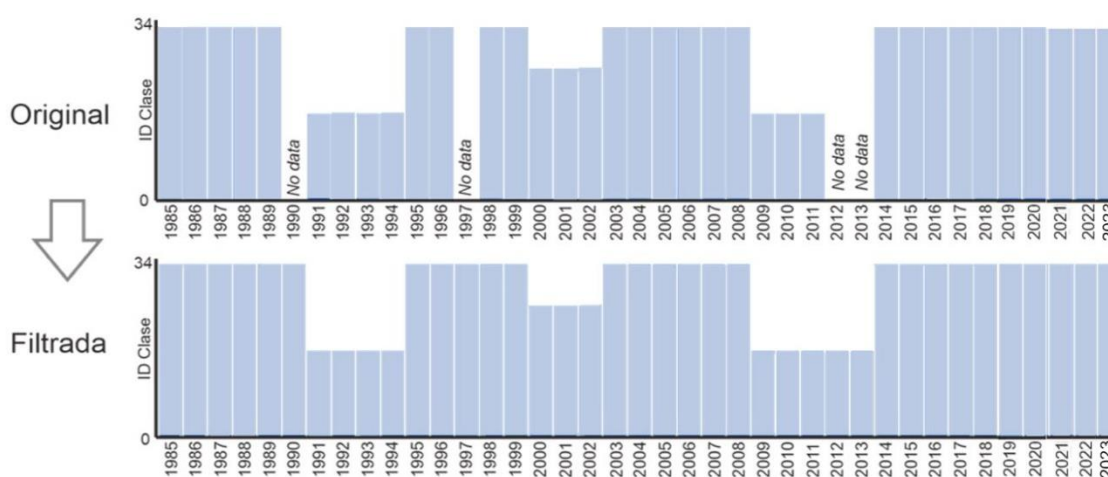
Figura 7. Temas transversales para MapBiomias Colección 6.0.

## 5. 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>3</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.

### 5.1 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 3.



**Figura 3.** Funcionalidad del filtro de Gap Fill

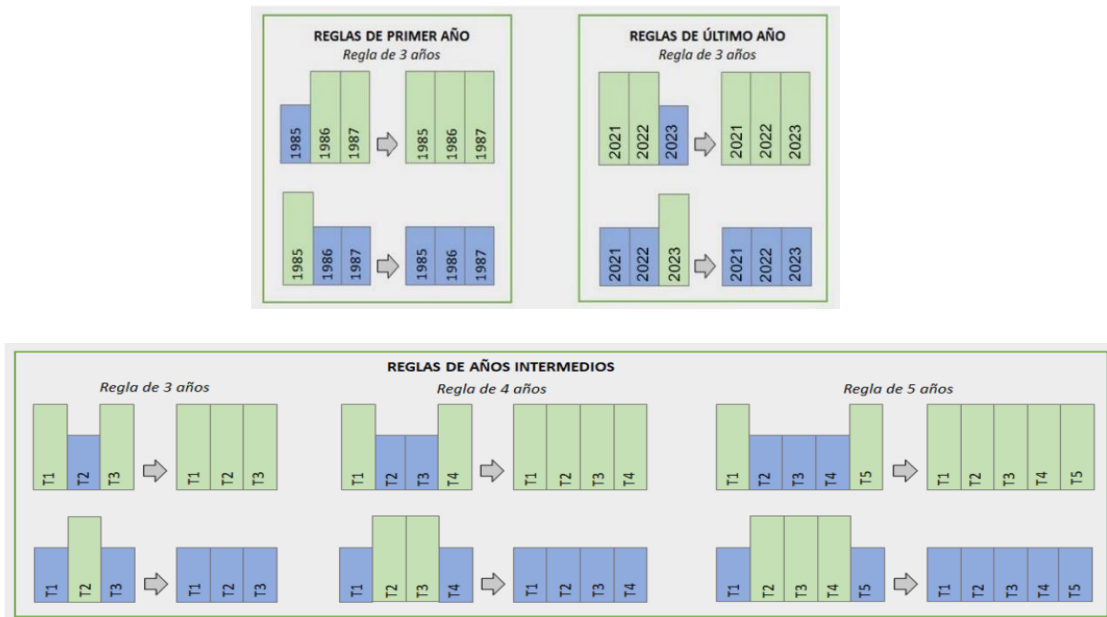
### 5.2 Filtro Temporal

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

<sup>3</sup> 5 píxeles = aproximadamente media hectárea.

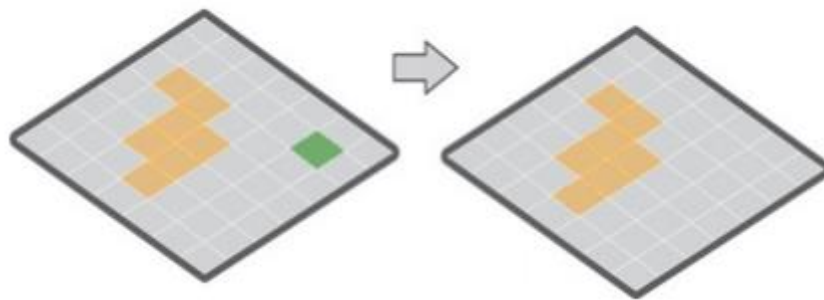
3. *Reglas de último año (RU)*, buscan actualizar el valor del último año (2023) en base a los valores de los dos años anteriores (T-1, T-2) (Figura 4).



**Figura 4.** Funcionalidad del 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 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 5).

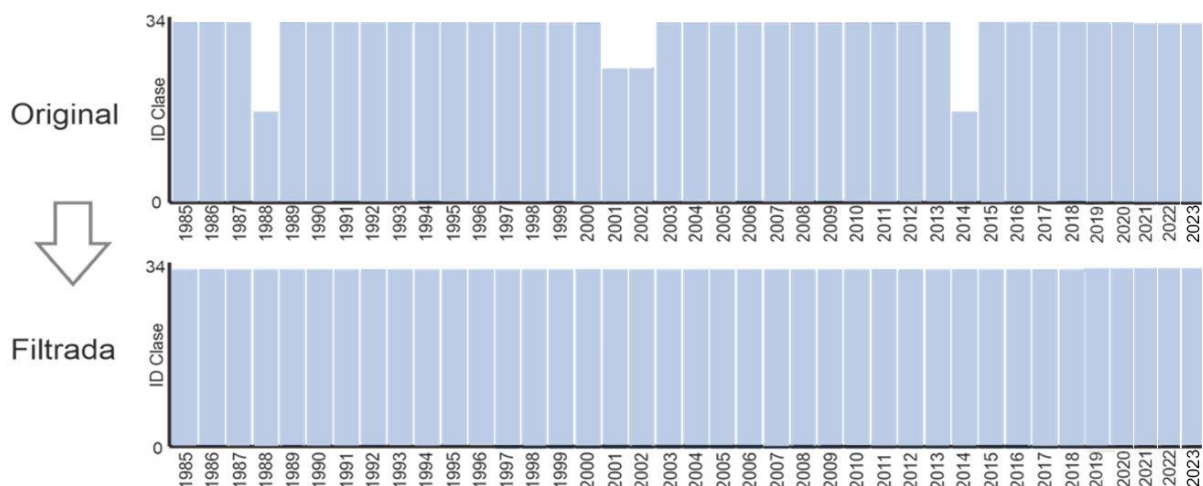


**Figura 5.** Funcionalidad del filtro espacial

### 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 6).

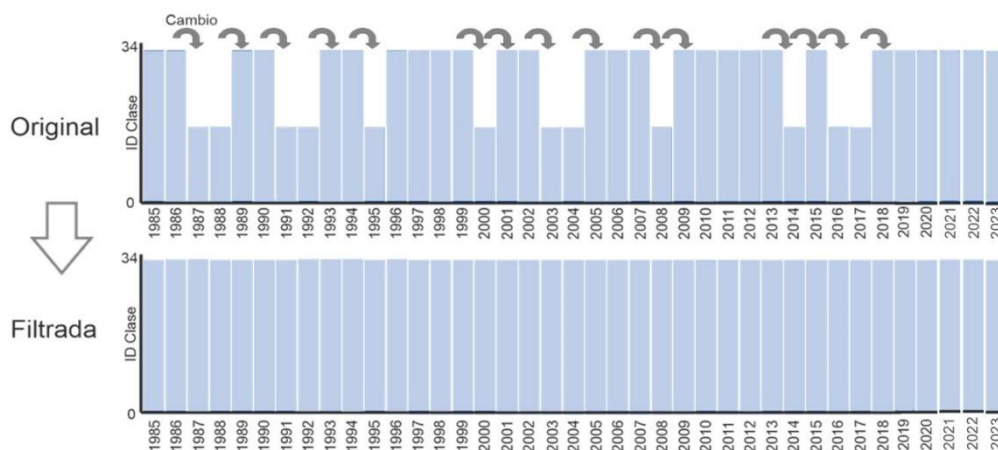




**Figura 6.** Funcionalidad del filtro de frecuencia

### 5.5 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 7). Se descartó su aplicación en varias subregiones.



**Figura 72.** Funcionalidad del filtro de incidencia

### 5.6 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.



## 6. 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	Agua	33	Mapa transversal/ Mapa general
4	Infraestructura Urbana	24	Mapa transversal
5	Pasto	15	Mapa transversal
6	Agricultura	18	Mapa transversal
7	Mosaico de usos (agropecuario)	21	Mapa general
8	Bosque inundable	6	Mapa transversal
9	Formación natural no forestal inundable	11	Mapa transversal/ Mapa general
10	Otra área antrópica sin vegetación	25	Mapa general
11	Formación campestre o herbazal	12	Mapa general
12	Otra formación natural no forestal	13	Mapa general
13	Playa, duna o banco de arena	23	Mapa general
14	Otra área natural sin vegetación	68	Mapa general
15	Afloramiento rocoso	29	Mapa general
16	Bosque abierto	4	Mapa general
17	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.

## 7. 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 Amazonía Colección 6.0. 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.)
- Períodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- Períodos de diez años (por ejemplo, 2000-2010)
- Serie temporal completa (1985-2023)
- Períodos especiales (por ejemplo, 2000-2023)

## 8. Referencias

- CUMAT. (2001). Mapa de capacidad de uso mayor de la tierra Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- FAO. (1978). Mapa de cobertura y uso de la tierra,1978. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- Ibisch P.L. & G. Mérida (eds.) 2003. *Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación*. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.
- Navarro, G. 2002. *Vegetación y unidades biogeográficas de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño (eds). Cochabamba-Bolivia.
- Navarro, Gonzalo. (2011) *Clasificación de la Vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia
- Proyecto Monitoreo de Deforestación en la Región Amazónica 2da fase, Sala de Observación Bolivia -SoB-OTACA. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- Superintendencia Agraria (2001). Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia, 2001. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- UTNIT (2010). Mapa de cobertura y uso actual de la tierra Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)
- ZAE. (2002). Mapa de zonificación agroecológica de Bolivia. Geobolivia. Recuperado de: <https://geo.gob.bo> (2021)