RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA

MAPBIOMAS

[AMAZONIA]

Apéndice - Colombia

Algorithm Theoretical Basis Document - ATBD

Colección 5.0

Versión 1.0

Noviembre de 2023

Equipo de especialistas
Karen Andrea Huertas
John Aguilar

Equipo de Asistentes de interpretación

Vanessa Bolívar
Vanessa Botero
Angie Bustos
Andrés Medina
Eliana Mora
Cristhian Mora
Miguel Restrepo
Janner Simbaqueba
Valentina Vera
Laura Urrea

Especialista en desarrollo en teledetección

Karen Bastidas

Equipo pasantes
Daniel Dueñas
Natalia García

Coordinación del proyecto MapBiomas en la Amazonía colombiana
Adriana Rojas Suárez y Karen Andrea Huertas

Institución
Fundación Gaia Amazonas

Gaia
Amazonas
Calle 70a # 11- 30

Bogotá, Colombia.

(57-1) 772 35 42 / (57-1) 805 37 68

contacto@gaiaamazonas.org

https://www.gaiaamazonas.org

Cómo citar:
Fundación Gaia Amazonas (2023). Documento de Bases Teóricas de Algoritmo (ATDB) RAISG-MapBiomas Amazonía Colección 5, Apéndice Colombia – Colección 5 de Mapas Anuales de Cobertura y Uso del Suelo de la Amazonía.

CONTENIDO

1. Introducción 5
2. Características generales del país 6
2.1. Breve contexto de la Amazonía colombiana 6
2.2 Biogeografía Amazonía colombiana 8
2.3 Biogeografía Andes 9
2.4 Biogeografía Amazonía 10
2.5. Otras iniciativas de mapeo 12
2.6. Metodología MapBiomas Amazonía colombiana 13
2.6.1. Evolución de colecciones 13
2.6.2. Mosaicos Landsat 15
2.6.2.1. Regiones de mosaicos 15
2.6.2.2. Generación de los mosaicos Landsat 16
2.6.2.3. Evaluación de calidad de los mosaicos 18
2.6.3. Clasificación 21
2.6.3.1. Descripción metodológica 21
2.6.3.2. Regiones de clasificación 24
2.6.3.3. Leyenda 34
2.6.3.3.1. Leyenda Andes 35
2.6.3.3.2. Leyenda Amazonía 46
2.6.3.4. Colecta de muestras 64
2.6.3.5. Random forest 65
2.6.3.6. Temas transversales 66
2.6.4. Post-clasificación 66
2.6.4.1. Filtro Temporal 66
2.6.4.1.1. Año intermedio 66
2.6.4.2. Filtro Espacial 68
2.6.4.3. Gap Fill (Relleno de vacíos) 69
2.6.4.4. Filtro de Frecuencias 70
2.6.4.5. Orden de Aplicación de Filtros 70
2.6.4.6. Integración 72
3. Referencias 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Superficie dentro del límite RAISG..... 7
Tabla 2 Evolución colecciones MapBiomas Amazonía Colombia..... 15
Tabla 3. Parámetros de calidad de mosaicos..... 19
Tabla 4. Clases interpretadas por regiones de clasificación en la Amazonía colombiana..... 26
Tabla 5. Leyenda aplicada para la Amazonía colombiana.....34
Tabla 6 Número de árboles de decisión empleados por regiones de clasificación.....65
Tabla 7. Aplicación jerárquica de filtros post clasificación.....71
Tabla 8. Jerarquías para integración..... 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización y biomas presentes en la Amazonía colombiana..... 6
Figura 2 Biogeografía de la Amazonía colombiana. Gran Biomas.....8
Figura 3 Biogeografía de la Amazonía colombiana. Biomas preliminares..... 9
Figura 4 Regiones operativas de mosaico Amazonía colombiana..... 16
Figura 5 Cartas que cubren la región de la Amazonía colombiana..... 17
Figura 6 Píxel de mediana.....17
Figura 7 Mosaicos Landsat generados para la región de Andes y Amazonía..... 18
Figura 8 Calidad de mosaicos Andes..... 20
Figura 9 Calidad de mosaicos Amazonía.....20
Figura 10 Calidad de los mosaicos 1985 - 2022..... 21
Figura 11 Flujo de clasificación MapBiomas Amazonía Colección 5.0..... 23
Figura 12 Regiones de clasificación Amazonía colombiana.....25
Figura 13 Regiones de comunidades indígenas en la Amazonía colombiana..... 25
Figura 14 Respuesta Espectral Formación Forestal - Andes..... 35
Figura 15 Respuesta Espectral Otra Formación Natural no Forestal - Andes.....36
Figura 16 Respuesta Espectral Pasto - Andes.....37
Figura 17 Respuesta Espectral Agricultura - Andes..... 38
Figura 18 Respuesta Espectral Mosaico de agricultura y/o pasto - Andes.....39
Figura 19 Respuesta Espectral Playa, duna o banco de arena - Andes..... 41
Figura 20 Respuesta Espectral Infraestructura urbana - Andes.....42
Figura 21 Respuesta Espectral Otra Área sin Vegetación - Andes.....43
Figura 22 Respuesta Espectral Minería - Andes..... 44
Figura 23 Respuesta Espectral Río, lago u océano - Andes.....45
Figura 24 Respuesta Espectral No Observado - Andes.....46
Figura 25 Respuesta Espectral Formación forestal - Amazonía.....47

Figura 26 Respuesta Espectral Bosque inundable - Amazonía..... 48
Figura 27 Respuesta Espectral Silvicultura - Amazonía.....49
Figura 28 Respuesta Espectral Formación natural no forestal inundable - Amazonía.....50
Figura 29 Respuesta Espectral Formación Campestre - Amazonía..... 51
Figura 30 Respuesta Espectral Otra formación natural no forestal - Amazonía..... 53
Figura 31 Respuesta Espectral Pasto - Amazonía.....54
Figura 32 Respuesta Espectral Agricultura - Amazonía..... 55
Figura 33 Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto - Amazonía..... 57
Figura 34 Respuesta Espectral Playa, duna o banco de arena - Amazonía.....58
Figura 35 Respuesta Espectral Infraestructura Urbana - Amazonía.....59
Figura 36 Respuesta Espectral Otra áreas sin vegetación - Amazonía.....60
Figura 37 Respuesta Espectral Afloramiento rocoso - Amazonía.....61
Figura 38 Respuesta Espectral Minería - Amazonía..... 62
Figura 39 Respuesta Espectral de Río, lago u océano - Amazonía..... 63
Figura 40 Respuesta Espectral Palma aceitera - Amazonía.....64
Figura 41 Filtro Temporal..... 67
Figura 42 Filtro Temporal Regla de Primer y Último Año.....68
Figura 43 Filtro Espacial.....69
Figura 44 Filtro de Relleno de Vacíos (Gap Fill)..... 70
Figura 45 Filtro de Frecuencias.....70
Figura 46 Integración de la clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 5.0..74

1. Introducción

La Amazonía es una región de gran importancia ecológica y cultural a nivel mundial. Por un lado, se encuentra la mayor extensión de bosque tropical, el cual representa el 50% de los bosques del planeta, albergando el 10% de la biodiversidad mundial y almacenando entre el 17% y el 20% del agua dulce; y por otro, posee una gran riqueza cultural puesto que es habitada por alrededor de 385 comunidades indígenas (Ruiz, 1993) (Sin embargo, esta región viene presentando procesos acelerados de transformación por décadas, tales como la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, la minería, la construcción de vías, la extracción de hidrocarburos (Patrimonio natural, 2013), entre otras; afectando el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad de satisfacer las necesidades humanas (E.G. Leija et al., 2020), por lo cual es necesario implementar herramientas que permitan conocer oportunamente la dinámica de estos cambios para la toma de decisiones en torno al manejo y planificación territorial y de los recursos naturales.

Durante los últimos años la teledetección y los sistemas de información geográfica se han aplicado ampliamente en análisis de cambio de coberturas y uso del suelo para la estimación de pérdidas y/o ganancias de coberturas vegetales y otros procesos asociados a estas dinámicas (Pero, 2015). A nivel global, existen varias iniciativas de mapeo de coberturas de la tierra como The Globcover Project (Bicheron et al., 2006) y Global Forest Watch (World Resources Institute, 2002) mientras que en el contexto nacional, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) se han encargado del seguimiento de las coberturas mediante el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) y el Sistema de Monitoreo de las Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana (SIMCOBA).

En este contexto, la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) en asociación con el proyecto MapBiomas Brasil, crean MapBiomas Amazonía en el 2017, una iniciativa de mapeo y monitoreo anual de la cobertura y uso del suelo de toda la región Amazónica, que involucra una red colaborativa de investigadores, instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales de los países Amazónicos. La metodología propuesta emplea imágenes ópticas del satélite Landsat, con resolución espacial de 30 m, procesadas en la nube y clasificadas pixel a pixel automáticamente por algoritmos de Machine Learning a través de la plataforma Google Earth Engine, para obtener información detallada, confiable y actualizada sobre los cambios en el paisaje. Actualmente, se han elaborado 5 colecciones de MapBiomas Amazonía, las cuales han ido evolucionando en aspectos metodológicos que han permitido la ampliación del rango temporal de mapeo, la actualización de la información y la obtención de clasificaciones cada vez más detalladas.

Colombia como uno de los países Amazónicos, con el 6% del área total que corresponde al 44,3% del territorio nacional, hace parte de la iniciativa MapBiomas Amazonia, y es la Fundación Gaia Amazonas la organización encargada de realizar el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo de esta región para el país. Como parte de la generación de conocimiento que propone el trabajo con la red, la fundación presenta este documento donde se expone la base teórica, la justificación y los métodos aplicados para producir los mapas anuales de cobertura, así como un contexto histórico y antecedentes para mejor entendimiento del procedimiento y las consideraciones diferenciales para la Amazonía Colombiana.

2. Características generales del país

2.1. Breve contexto de la Amazonía colombiana

La Amazonía actualmente es considerada una región estratégica a nivel mundial debido a la gran variedad de especies de fauna y flora que alberga, muchas de las cuales son endémicas, las diversas etnias que la habitan ofrecen una extraordinaria riqueza cultural, la belleza de sus paisajes, por su extensa red hidrográfica que provee a los ríos Amazonas y Orinoco, y por los importantes servicios ecosistémicos que brinda, entre los cuales destaca la regulación climática y captura de CO2, dado que de acuerdo con la (RAISG, 2020) posee el bosque tropical continuo más extenso del planeta. El bioma amazónico abarca 8.470.209 km2 y se extiende en nueve países, entre los cuales Colombia cuenta con 50,3 millones de hectáreas que representan el 6% del límite RAISG y el 44,3% del territorio nacional (RAISG, 2020).

Está conformada por 10 departamentos; Amazonas, Caquetá, Putumayo, Vaupés, Guainía y Guaviare, en su totalidad, y de manera parcial por el suroriente del Meta, la parte sur de Vichada, y con un menor aporte los departamentos de Nariño y Cauca. Así mismo, engloba la jurisdicción de 70 municipios y 3 áreas sin decisión político administrativa (IGAC, 2021). Según cifras del (DANE, 2018), la población en la Amazonía colombiana asciende a 1.460.833 personas, de las cuales 169.513 conforman la población indígena agrupada en 62 pueblos. Estas comunidades se han asentado a lo largo del tiempo en el territorio aprovechando de manera sostenible los recursos de la región gracias a saberes tradicionales y el conocimiento heredado del funcionamiento ecosistémico.

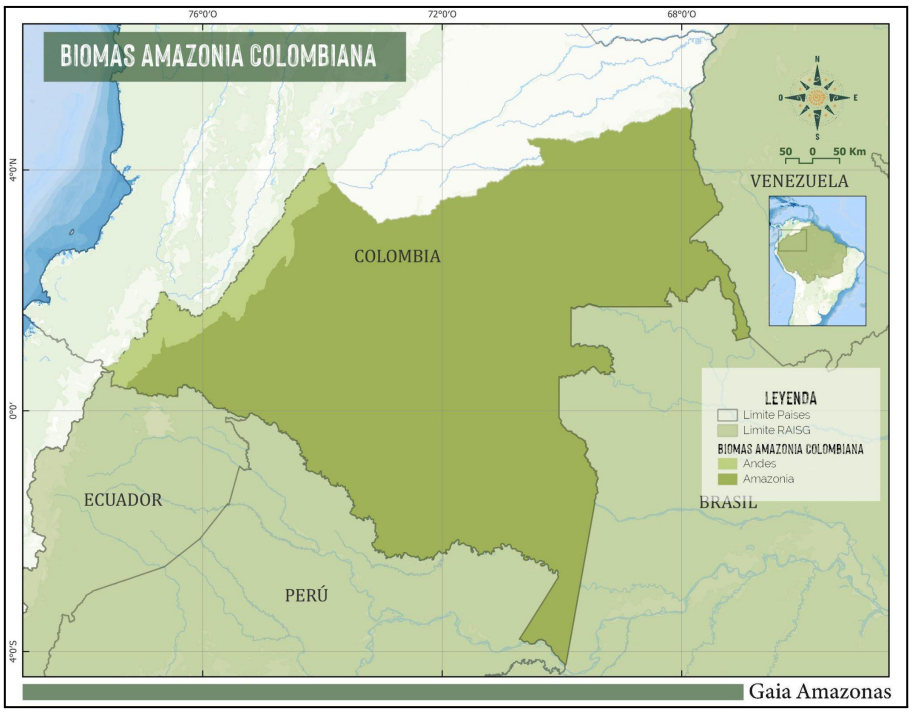


Figura 1 Localización y biomas presentes en la Amazonía colombiana.

De acuerdo con sus características topográficas, la Amazonía colombiana puede ser subdividida en tres grandes regiones; En la parte noroccidental se encuentran las mayores altitudes debido a la influencia

del páramo de Sumapaz, el cual alcanza los 3600 msnm, esta región se destaca por presentar pendientes altas a moderadas y contener las cuencas altas de los grandes ríos Amazónicos. Contigua a ésta, se halla el piedemonte, caracterizado por tener pendientes de moderadas a bajas, una red de transporte terrestre amplia y que ha sido altamente ocupada, principalmente por población colona procedente de la región Andina y, finalmente, la región conocida como planicie que cubre la mayor parte de la Amazonía colombiana y donde se concentran los mayores remanentes de bosque natural y las culturas indígenas más ancestrales de Colombia. Rojas Suárez & Guio Rodríguez (2019) señalan que el 67% de los bosques del país se localizan en la Amazonía, siendo el bosque Húmedo tropical el de mayor extensión, con aproximadamente un 65% de representación, también las coberturas herbáceas y arbustivas, las formaciones rocosas y las zonas de inundación conforman los distintos paisajes que embellecen la región y configuran el hábitat idóneo para diversas especies de fauna. Debido a sus cualidades geográficas, climáticas, territoriales, poblacionales, económicas, sociales y ambientales, se diferencian 2 subregiones en la Amazonía colombiana las cuales se observan en la **figura 1** y cuya información se registra en la **tabla 1**.

Tabla 1 Superficie dentro del límite RAISG.

Bioma	Área WGS84 UTM Web Mercator (Mha)*	Área SRC_FGA sinusoidal(Mha)**	Área CTM 12 (Mha)***	Porcentaje
Andes	2,65	2,64	2,63	5,22%
Amazonía	48,11	47,93	47,74	94,78%
Total	50,76	50,57	50,37	100%

Nota: Representa el 44.3% de la superficie del país y el 6% del límite RAISG. De izquierda a derecha, áreas calculadas con: Google Earth Engine empleando la función ee.Image.pixelArea con proyección WGS84 UTM Web Mercator; proyección sinusoidal; y origen nacional. Las superficies pueden diferir de los datos manejados en otras proyecciones.

Debido a la gran biodiversidad que contiene ha sido objeto de conservación, por lo cual se han establecido varias áreas protegidas bajo distintas categorías de manejo como Santuario de Fauna y Flora, Parque Nacional Natural, Distrito de Manejo Integrado, Reserva Forestal Protectora Natural, Reserva Forestal Protectora Regional, Reserva Natural de la Sociedad Civil, Área de Recreación y Humedal Ramsar. Entre las áreas protegidas en la Amazonía de destacan el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, que ostenta ser el más extenso del país, superando las 4 millones de hectáreas (Castaño-Uribe, 2019), el Parque Nacional - Resguardo Apaporis que representa un modelo de manejo innovador intercultural y, el PNN Río Puré y la RNN Nukak donde habitan pueblos indígenas que han tenido un reducido contacto con el exterior.

En los últimos años, la deforestación en esta región ha evidenciado una tendencia creciente y alarmante, donde el principal impulsor es la conversión del terreno para fines agropecuarios, seguido de la ampliación en infraestructura vial, la extracción maderera, las actividades mineras, entre otras. Conforme a lo anterior, se precisa la adopción de políticas y medidas adecuadas para la protección del patrimonio biológico y cultural.

2.2 Biogeografía Amazonía colombiana

Esta región está compuesta por 5 biomas zonales y azonales, siendo el zonobioma de bosque Húmedo tropical el que contiene mayor porcentaje de área entre ecosistemas naturales de clima Cálido Húmedo y que representan el 64,9% de la superficie como se observa en la **figura 2**; lo precede los litobiomas, que concentran el 14,5% en formaciones rocosas. También resalta el 12% del territorio que presenta una influencia acuática como las llanuras aluviales y que se conocen como helobiomas finalmente, se encuentran los peinobiomas que ocupan un 3,4% de la superficie en áreas de altillanuras (Murcia García et al., 2007). Cabe mencionar que dentro de estas unidades bióticas se concentra la mayor parte de los ecosistemas representativos de la región amazónica como, bosques de tierra firme, bosques inundables, sabanas naturales, afloramientos rocosos y arbustales. (Hernández & Sánchez, 1992).

Figura 2 Biogeografía de la Amazonía colombiana. Gran Biomas.

Fuente: Extraído y modificado de capa de Ecosistemas Continentales y Marinos de Colombia (IDEAM et al., 2017).

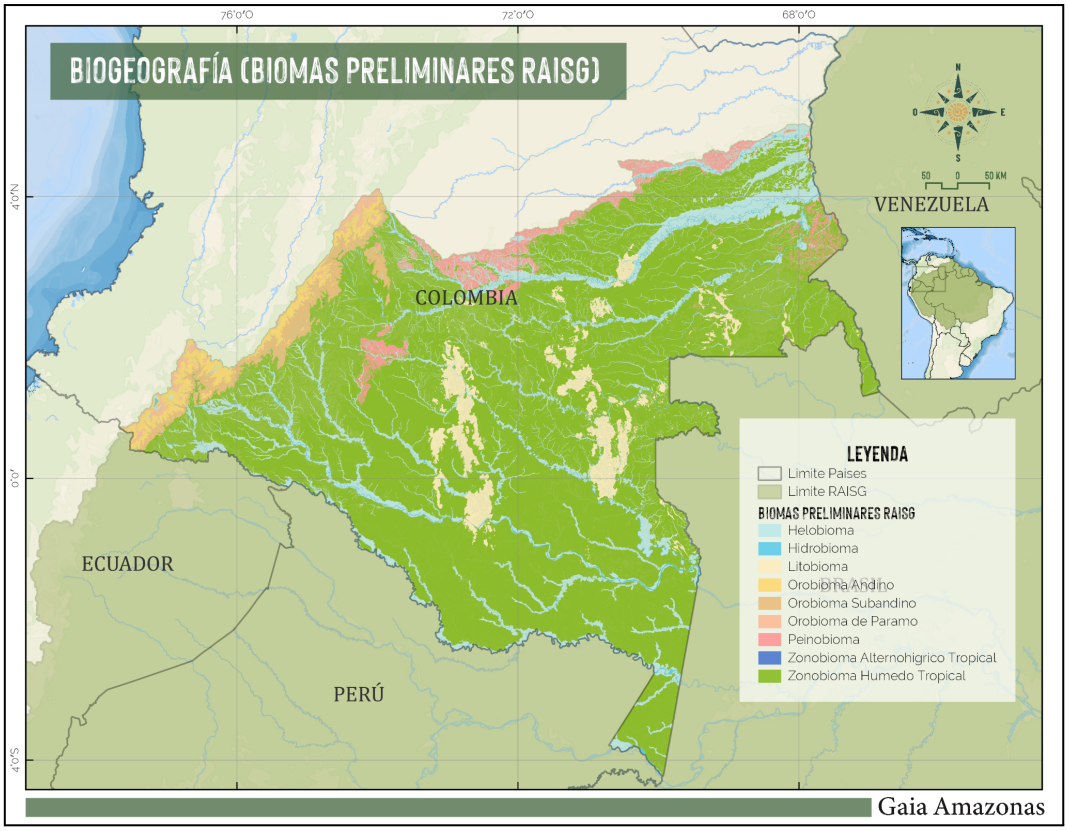


Figura 3 Biogeografía de la Amazonía colombiana. Biomas preliminares.

Fuente: Extraído y modificado de capa de Ecosistemas Continentales y Marinos de Colombia (IDEAM et al., 2017).

Como se mencionó anteriormente, para fines de su estudio, la Amazonía colombiana se ha dividido en dos subregiones, donde sus gran biomas y biomas preliminares se puede observar en la **figura 2** y **3** respectivamente, y la biogeografía de estos últimos se describe a continuación.

2.3 Biogeografía Andes

La región amazónica que posa sus coberturas sobre la cordillera de los Andes, se ubica sobre el flanco oriental de la cordillera de oriental y sobre cordillera central sobre el flanco oriental, está es compartida con Ecuador como se observa en la **figura 3**, se define por cambios altitudinales propios de su topografía montañosa que cambia el régimen hídrico y forman cinturones o fajas de vegetación de acuerdo con su incremento en altitud y la respectiva disminución de la temperatura (Heinrich & Siegmar, 1986; Hernández & Sánchez, 1992; Walter, 1977). Según el rango altitudinal se incluyen zonas de baja montaña, zona de media montaña y zona de alta montaña definidas a continuación, cabe resaltar que son formaciones que se encuentran de lo interpretado en esta colección:

1. **Helobioma:** Son zonas catalogadas como mal drenadas con largos periodos de inundación o permanentes. Se diferencian teniendo en cuenta los ambientes edafogenéticos ricos en materia orgánica y ácuicos, dicha cobertura para Corine Land Cover hace referencia a zonas pantanosas y turberas para esta zona (Heinrich & Siegmar, 1986; Hernández & Sánchez, 1992).

2. **Hidrobioma:** Hace referencia a cuerpos de agua permanentes en área continental. Zonas que corresponden a todas aquellas superficies de agua donde no existe un suelo superficial y poca presencia de especies vegetales como ríos, lagos y lagunas (Heinrich & Siegmar, 1986; Hernandez & Sanchez, 1992; IDEAM et al., 2017).

3. **Orobioma de páramo:** Esta formación se encuentra por encima de los 2.800 m.s.n.m., se consideran los pisos térmicos climáticos muy Frío, extremadamente Frío y con una alta humedad que puede llegar a ser Húmedo, semi Húmedo y/o superHúmedo, este orobioma se puede encontrar por encima del límite superior de la formación selvática andina y bajo el límite inferior de las nieves perpetuas (Hernández & Sánchez, 1992; IDEAM et al., 2017).

4. **Orobioma subandino:** Se puede encontrar en la franja altitudinal entre los 800 m.s.n.m. y los 1.800 m.s.n.m. en este sentido, son selvas higrofíticas o subhigrofíticas de los pisos térmicos que van desde los 22-24°C hasta los 14-15°C, se caracteriza por la alta frecuencia de la niebla la cual lleva a elevar la humedad relativa con un comportamiento inversamente proporcional a la evapotranspiración. Equivale a los bosques húmedos, muy húmedos y pluviales de los pisos premontano y montano (Holdridge, 1964) y correspondiente al piso climático templado y las provincias de humedad según Caldas-Lang: húmedo, semihúmedo y superhúmedo (Hernández & Sánchez, 1992; IDEAM et al., 2017).

5. **Orobioma andino:** Se encuentra en la franja altitudinal entre los 1.800 m.s.n.m. y los 2.800 m.s.n.m., son selvas higrofíticas o subhigrofíticas influenciadas por la alta frecuencia de la niebla con temperaturas de 14-15°C a 5-6°C, corresponde al piso climático Frío y las provincias de humedad según Caldas-Lang: húmedo, semihúmedo y superhúmedo y al bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano y bosque pluvial montano según la clasificación de Holdridge propuesta en 1964 (Hernández & Sánchez, 1992; IDEAM et al., 2017).

2.4 Biogeografía Amazonía

1. **Zonobioma Húmedo tropical**: Este corresponde a los bosques Húmedos de pisos iso-megatérmicos que se encuentran por debajo de los 800 msnm, en los cuales la vegetación no presenta un déficit hídrico a lo largo del año, o es muy pasajero, lo cual no afecta el aspecto sempervirente de la misma, en el país corresponde al 45 %, con 51.931.076 ha, lo que lo hace el bioma más extenso de la parte continental (IDEAM et al., 2017).

   Este se encuentra delimitado por unos amplios caracteres climáticos, edáficos y de vegetación zonal que alcanzan el clímax ecológico. Específicamente se caracteriza por contar predominantemente dos tipos de clima: Cálido muy Húmedo (60%) y Cálido Húmedo (40%). Se encuentra principalmente sobre dos unidades geomorfológicas: lomerío fluviogravitacional y estructural erosional (86%) y planicies aluviales (13%), cubierto por bosques naturales (92%), pastos (6%) y herbazales (2%).

2. **Zonobioma alternohígrico tropical.** Este corresponde a los bosques ubicados por debajo de los 800 m.s.n.m., se caracteriza por tener periodos de sequía considerablemente largos, por

lo cual presenta vegetación caducifolia que optimiza el uso del agua, se considera la el piso climático cálido con las provincias de humedad: árido, desértico y semiárido (IDEAM et al., 2017)

3. **Hidrobioma:** Hace referencia a cuerpos de agua permanentes en área continental. Zonas que corresponden a todas aquellas superficies de agua donde no existe un suelo superficial y poca presencia de especies vegetales como ríos, lagos y lagunas (Heinrich & Siegmar, 1986; Hernández & Sánchez, 1992; IDEAM et al., 2017).

4. **Helobiomas:** Se asocia a zonas con mal drenaje, encharcamiento permanente o con prolongado periodo de inundación presentando en su mayor parte dos tipos de clima: Cálido Húmedo (65%) y Cálido muy Húmedo (30%). Se encuentra principalmente sobre dos unidades geomorfológicas: planicie aluvial (64%) y valle aluvial (23%), cubierto predominantemente por bosques naturales (53%), herbazales (20%) y pastos (12%), los helobiomas ocupan 18.441.068,9 ha, que corresponde al 16,1 % del territorio continental, dentro de estos podemos destacar las varseas, igapós, cananguchales o morichales, las cuales presentan encharcamientos permanentes durante gran parte del año; en sectores pantanosos de la Orinoquia y Amazonia, también se encuentran asociaciones homogéneas del arracacho "*Montrichardia sp"* (Hernández & Sánchez, 1992).

5. **Peinobiomas:** Perteneciente a las sabanas naturales de pisos Cálidos con predominio de vegetación herbácea, donde se pueden apreciar entremezclados arbustos, árboles y palmeras, muchas de estas son formadas bajo diversas condiciones climáticas y elevaciones en las que pueden presentarse afloramientos rocosos donde ocurren procesos de meteorización de las rocas y una lenta formación de suelos que los recubre. Su precipitación varía entre 1.700 y 3.000 mm/año. Adicionalmente, se caracteriza por presentar esencialmente dos tipos de clima: Cálido Húmedo (85%) y Cálido muy Húmedo (9%). Se encuentra principalmente sobre tres unidades geomorfológicas: altiplanicie estructural erosional (68%), planicie aluvial (21%) y piedemonte aluvial y coluvio-aluvial (10%). La cobertura de la tierra está constituida predominantemente por herbazales (57%), bosques naturales (24%) y pastos (14%),ocupa 7.044.629,5 ha, que corresponde al 6,15 % del territorio nacional, cabe destacar que en conjunto, las características edafológicas, topográficas y el fuego como un factor natural, determinan la presencia de estas sabanas. (IDEAM et al., 2017) ,estos peinobiomas son denominados catingales en el departamento de Guainía, muestran una alta similitud con las caatingas de la Amazonia brasileña, tanto en rasgos fisonómicos así como en su composición florística (Hernández & Sánchez, 1992).

6. **Litobiomas:** Contempla lugares de afloramientos rocosos en la Amazonía y Orinoquía, presenta en su mayor parte dos tipos de clima: Cálido muy Húmedo (76%) y Cálido Húmedo (24%). El 100% de su área se encuentra sobre la unidad geomorfológica de superficies de planamiento (mesetas o montañas con cimas aplanadas), cubierto predominantemente por bosques naturales (90%) y herbazales (7%),los litobiomas de mayor interés se encuentran en la Orinoquia y la Amazonia, a manera de enclaves, localizados en cerros- islas, a menudo en colinas o afloramientos cercanos a los ríos, en Colombia se encuentran sobre el escudo guayanés y se encuentran en la orilla del río Orinoco, la Serranía de la Macarena y en las

cuencas de los ríos Guaviare, Inírida, Negro, Vaupés, Yarí y Caquetá, ocupan el 2,08 % del territorio continental, con 2.389.011,9 ha (Hernández & Sánchez, 1992).

2.5. Otras iniciativas de mapeo

El mapeo de la cobertura de la tierra y la deforestación es realizado por otras iniciativas a nivel internacional, nacional y regional y sus productos sirven como insumo de referencia y validación para la cartografía elaborada por MapBiomas Colombia. A escala internacional, la iniciativa *Global Forest Watch* (GFW) del *World Resources Institute* 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 basados en imágenes satelitales Landsat disponibles en la plataforma web Global Forest Watch 2.0. (https://www.globalforestwatch.org/). Desde la plataforma de GFW es posible la descarga de datos del cambio anual de cobertura de bosques (ganancias y pérdidas) desde el 2000 al 2022, los cuales fueron utilizados en esta colección para la verificación del mapeo de la deforestación y cambio de cobertura en la Amazonía Colombiana.

A nivel nacional dentro de las iniciativas de mapeo de la deforestación y coberturas de la tierra en Colombia se destaca la desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Esta iniciativa se refleja en dos proyectos, el mapa de cobertura de la tierra utilizando la metodología Corine Land Cover (CLC); y el mapa anual de pérdida de bosque en Colombia a través del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC). El primer proyecto fue utilizado para la verificación y confirmación de coberturas de la tierra para la Amazonía colombiana mientras que el segundo ofrece una base de consolidado numérico de la pérdida de bosque en la Amazonía.

De esta manera, el IDEAM reportó un incremento acelerado de deforestación para la región amazónica entre 2016 y el 2017 y conservó su magnitud en el 2018, para 2019 se reflejó nuevamente un incremento de superficie deforestada que continúa en ascenso durante el año 2020 en donde se perdieron 109.302 hectáreas de bosque. Para el 2021 el IDEAM reportó para la Amazonía colombiana una superficie deforestada de 112.899 hectáreas lo que representa el 64.8% de área deforestada a nivel nacional (IDEAM y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Para el cuarto trimestre del 2022, a través del SMByC y los informes de alertas tempranas por deforestación, se estima una deforestación de 13.000 ha en los siete departamentos amazónicos, principalmente en Putumayo (29%), Meta (25%) y Guaviare (23%), siendo los municipios de Mapiripán (Meta), Puerto Asís-Orito (Putumayo), Puerto Guzmán (Putumayo), Puerto Caicedo (Putumayo), San José del Guaviare (Guaviare) y Cartagena del Chaira (Caquetá) los seis primeros centros de deforestación en la Amazonía Colombiana (IDEAM, 2023).

A escala regional, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI-, se encarga de mapear coberturas de la tierra en la Amazonía siguiendo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, teniendo en la actualidad un monitoreo a diferentes periodos de tiempo bianuales entre los cuales se encuentran: 2000-2002, 2010-2012, 2012- 2014, 2014- 2016, 2016-2018 y más recientemente se hizo el lanzamiento de la versión para los años 2018-2020.

A diferencia de las anteriores iniciativas, el proyecto MapBiomas Amazonía es implementado por organizaciones no gubernamentales de los países amazónicos los cuales se encargan de mapear el área respectiva de cada uno de los países, es así como el proceso cartográfico es hecho por expertos de cada país con conocimientos de campo y de las particularidades geográficas de cada región. De esta manera se generan mapas anuales de cambios de uso y cobertura de la tierra con datos de la serie de Landsat que va desde el 1985 al 2022 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. Igualmente, para esta colección se implementó el uso de imágenes generadas por el satélite Landsat 9, las cuales representaron 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 5 hizo uso de fuentes de referencia adicionales para la validación de la clasificación de las coberturas del suelo, entre las que se destacan imágenes satelitales de alta resolución espacial y temporal. Entre estas imágenes se utilizaron las provistas por Microsoft Bing, ESRI, ESA, Planet-NICFI, CIFOR y Google a través de las cuales era posible la verificación del tipo de cobertura. De estas, se destacan las imágenes desarrolladas por Planet-NICFI debido a su resolución temporal mensual que permitió la identificación del cambio de las coberturas del suelo desde el 2015 y lo cual resultó especialmente importante a la hora de identificar el avance de la deforestación durante los últimos años.

En ese sentido, esta quinta colección está orientada a un perfeccionamiento en el mapeo de clases como pastos y agricultura en el arco de deforestación amazónica colombiano, junto a una mejor precisión espacial en la dinámica interanual de las chagras de viento ubicadas en los Resguardos Indígenas (RI), las áreas protegidas y los Parques Nacionales Naturales (PNN), para así proporcionar un recurso que apoye a las comunidades indígenas en relación con la gestión territorial y ambiental de sus territorios.

Igualmente, para esta colección se aumentó la precisión temática al agregar nuevas clases como afloramientos rocosos, plantaciones forestales (silvicultura) y playas, dunas y arenas, junto a un perfeccionamiento de los datos anteriormente registrados en clases como palma aceitera y minería. Finalmente, para las otras clases temáticas también se utilizaron otras fuentes de referencia externas, como los datos del CIFOR (Center for International Forestry Research) para la validación de los bosques inundables y formación natural no forestal inundable o los datos de ESRI Built Area para la ubicación de áreas urbanas de poca extensión.

2.6. Metodología MapBiomas Amazonía colombiana

2.6.1. Evolución de colecciones

Para la iniciativa MapBiomas Amazonía hasta la fecha se han trabajado un total de cinco colecciones, las cuales presentan diferencias a nivel metodológico tal como se registra en la **Tabla 2** ,y por lo tanto de resultados. Se han presentado los siguientes cambios a resaltar en aspectos como: En cuanto a la cantidad de regiones, a lo largo de las colecciones se ha presentado una división más fina pasando de

trabajar con base en los límites de las cartas respectivas por colección a 48 regiones para la colección 5 definidas con criterios como capas de referencia del IDEAM, zona de alta dinámica, respuestas espectrales y contexto social, lo cual incrementa la precisión en el proceso de clasificación por interprete; En términos de sensores, para la colección 1,2 y 3 se manejaron Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, donde Landsat 5 se combinó con Landsat 7 con el fin de solucionar ciertas incidencias como bandeos en el año 2003, adicionalmente, Landsat 8 opera a partir de 2013 mejorando la calidad de mosaicos a partir de este año; para la Colección 4 se comenzó a incluir Landsat 4 para solventar algunos vacíos presentados antes del 2003. Finalmente, en la colección 5, se introdujo Landsat 9, operativo desde 2021, con el propósito de mejorar la calidad de las imágenes en los últimos años.

A nivel de mosaicos, se resalta un incremento en la cantidad de mosaicos del 2.35%; Los mosaicos con calidad buena presentaron así mismo, un comportamiento creciente del 3%, mientras que los porcentajes de calidad "regular" y "mala" se mantuvieron (lo anterior teniendo como punto de referencia la colección 4); En la temática de precisión de mapeo, se ha presentado una mejora en las clases raras a través de algoritmos especialmente diseñados para transversales debido a su área y comportamiento, en ese sentido, a partir de la colección 3 se desarrolló y mapeo el transversal de infraestructura urbana (ID:24) para toda la Amazonía, bosque inundable (ID:6) solo para la región 30219, y formación natural no forestal inundable (ID:11) para Amazonía baja, posteriormente para la Colección 4, se adicionó minería (ID:30), palma aceitera (ID:35), agricultura (ID:18) y pastos (ID:15) tanto para Andes como Amazonía, y para la colección 5 se incluyeron las clases de playa o duna (ID:23), afloramiento rocoso (ID:29) y silvicultura (ID:9). Cabe recalcar que el bosque inundable y la formación natural no forestal inundable no se detectó para Amazonia Alta ni Andes debido a su gradiente altitudinal para ninguna colección desde la tercera.

En el eje de leyenda se han realizado modificaciones en algunos códigos hexadecimales como para la clase de otra área sin vegetación e Infraestructura urbana, sin embargo para el paso de la colección 4 a la 5 se realizó un cambio en la mayoría de las clases; Finalmente, la dinámica de reglas de integración de las clases se definió a partir de la colección 3 donde se realizaron algunas excepciones, sin embargo a nivel general se priorizaron aquellas clases de menor área como infraestructura urbana sobre aquellas de mayor extensión como bosque u otra formación campestre con el fin de prevenir posible pérdida de información, posteriormente, para la Colección 5 también se continúan priorizando aquellas clases de menor cobertura incluyendo minería, palma aceitera, agricultura, pastos entre otras, y también, luego de una evaluación de los resultados preliminares, con fines de mejorar la visualización de las clases en ciertas regiones para esta última colección se realizaron dos excepciones a este orden donde se priorizo la clase 13 sobre 6, 12 y 3, mientras que en la segunda 12 queda priorizada sobre 13, 6 y 3.

Tabla 2 Evolución colecciones MapBiomas Amazonía Colombia.

Parámetro	COLECCIÓN				
	1	2	3	4	5
Serie	2000-2017	1985-2018	1985-2020	1985-2021	1985 - 2022
Regiones	NA	15	35	48	48
Cartas	47	47	47	47	47
Biomas	Amazonía Amazonía Alta Andes Macarena	Amazonía Alta Amazonía Baja	Amazonía Alta Amazonía Baja	Andes Amazonía	Andes Amazonía
Sensor	5,7 y 8	5,7 y 8	5,7 y 8	4,5,7 y 8	4,5,7,8 y 9
Mosaicos	799	1577	1835	1910	1955
Transversales	NO	NO	24,6,11	6,11,15, 18,35,24,30	6,11,15,18,24,30
Reglas de integración	NO	NO	SI	SI	SI

2.6.2. Mosaicos Landsat

2.6.2.1. Regiones de mosaicos

Dada las diferencias en las características fisiográficas y climáticas de la Amazonía colombiana, se realizó la subdivisión de ésta en dos regiones de mosaico según el gradiente altitudinal, en Andes y Amazonía, correspondientes al piedemonte y a la planicie amazónica como se observa en la **figura 4**. Esto con el fin de mejorar la calidad de los mosaicos, puesto que la altitud está directamente relacionada con la cobertura de nubes, dificultando la obtención de información a nivel del suelo por parte del sensor óptico, en este caso, los satélites Landsat.

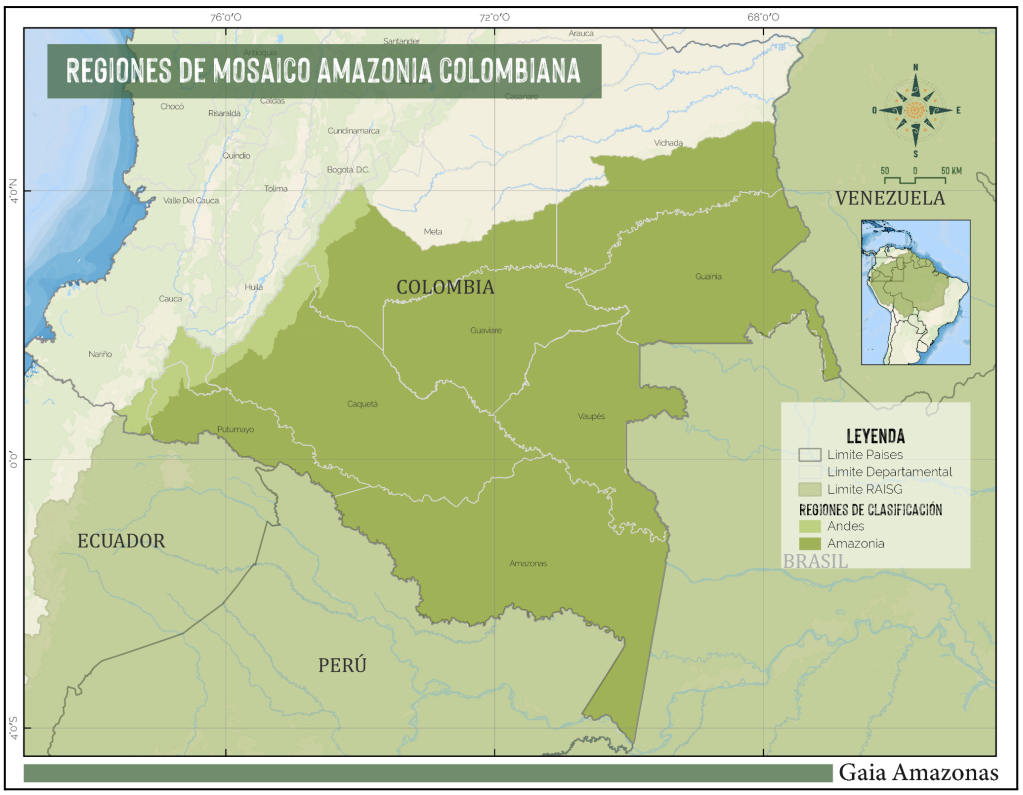


Figura 4 Regiones operativas de mosaico Amazonía colombiana.

2.6.2.2. Generación de los mosaicos Landsat

El objetivo general de la elaboración de los mosaicos fue obtener un compilado de imágenes Landsat para cada año, que incluyeran épocas secas y lluviosas con el fin de lograr un mejor contraste entre las clases de bosque y no bosque, la menor cantidad de nubes para disminuir posibles efectos sobre la clasificación de coberturas para la colección 5.0 de MapBiomas y las fechas más actualizadas por año, para obtener un compilado más actualizado de la dinámica anual de cada zona.

La unidad de referencia para el proceso de construcción de los mosaicos fue la carta internacional del Mapa Mundial al Millón en una escala de 1: 250.000, que cubre un área de 18,7 mil Km^2 en un rectángulo de 1°30' de longitud por 1° de latitud. La Amazonía colombiana está cubierta por 47 cartas que cubren dos regiones, distribuidas de la siguiente manera: para la región de Amazonía, 40 cartas y para la región de Andes, 7 cartas. Es de aclarar que en los perímetros adyacentes entre estas dos regiones de mosaicos se comparte la misma carta, pero puede cambiar el mosaico principalmente para evitar la cobertura de nubes que puede afectar la clasificación como se observa en la **figura 5**.

Cada carta fue procesada individualmente usando el valor de la mediana entre las imágenes seleccionadas para cada año de la serie temporal 1985 - 2022. Teniendo en cuenta que la deforestación en la Amazonía colombiana sucede principalmente entre el último trimestre del año y los meses de Enero y Febrero del siguiente, para la parametrización de los mosaicos anuales en algunas ocasiones fueron incluidas imágenes de Enero y Febrero del año siguiente al evaluado.

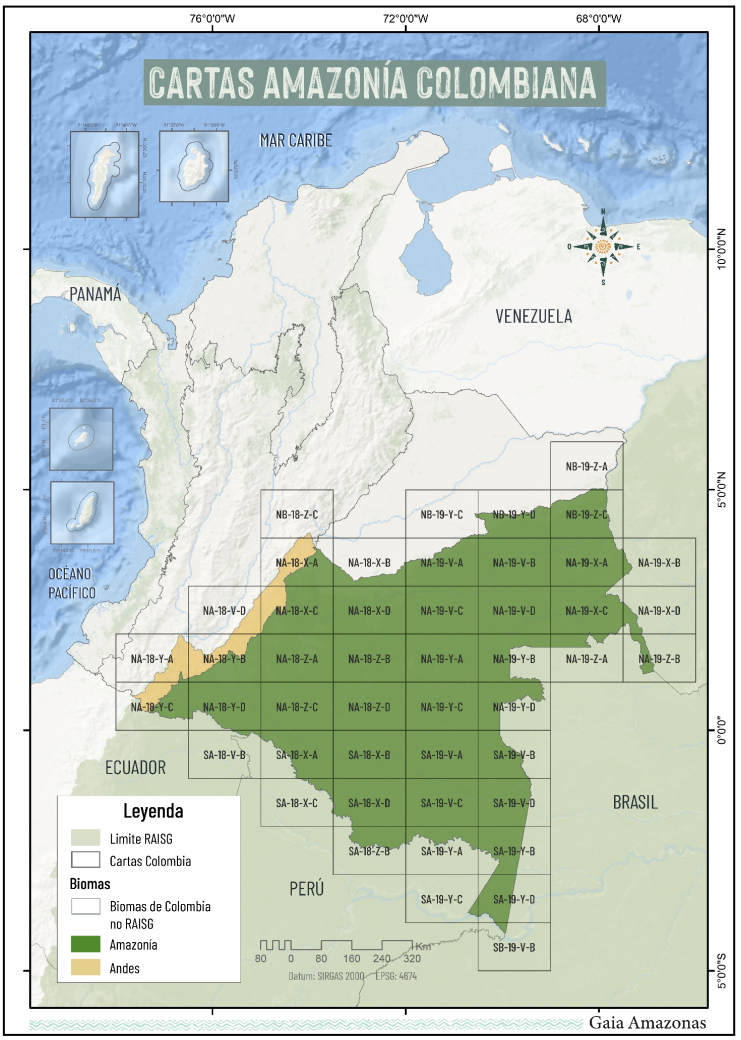


Figura 5 Cartas que cubren la región de la Amazonía colombiana.

Mosaico de mediana: Para cada carta y por cada año, se conformó un mosaico de imágenes de Landsat de la serie 4, 5, 7, 8 y 9. Cada mosaico está compuesto por al menos 2 imágenes donde la asignación del valor de cada píxel por banda en la composición se hace usando el valor de la mediana del conjunto de imágenes seleccionadas (espectro visible rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio) tal como se representa en la **figura 6**.

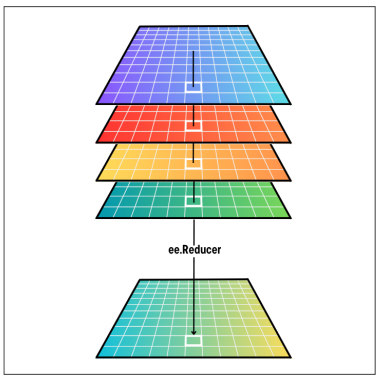


Figura 6 Píxel de mediana.

De esta manera el píxel que se usó para la clasificación corresponde al valor de la mediana de la serie temporal, por ejemplo, si para una carta el mosaico final está compuesto por imágenes entre los meses

de Octubre a Diciembre con un porcentaje máximo de cobertura de nubes del 30%, para el resultado final primero se enmascararon las nubes o sombras remanentes y luego se usó el reductor estadístico de mediana para la construcción del mosaico final de interpretación.

En la **figura 7** se presentan los mosaicos para la Amazonía colombiana. Debido a la falta de información en las colecciones de Landsat o por alta cobertura de nubes, persisten vacíos a lo largo de la serie temporal; este vacío de información se presentó temporalmente con mayor énfasis a inicios de las serie entre los años 1985 a 1988 y 1992 a 1996, espacialmente en el piedemonte amazónico y los departamentos de Guaviare, Meta, Caquetá y Putumayo; esta situación afecta especialmente los resultados en zonas de alta dinámica en el cambio de coberturas, donde la capacidad del método para subsanar estos vacíos es insuficiente.

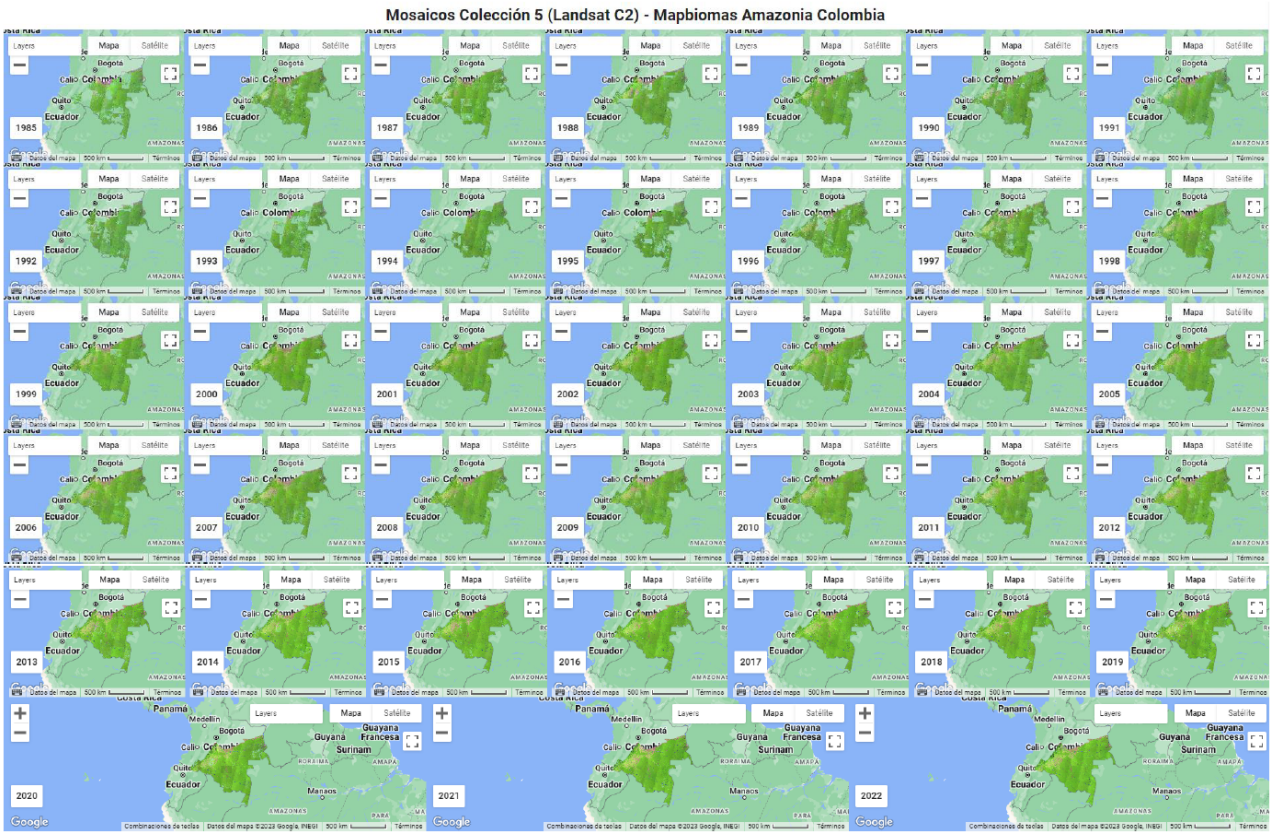


Figura 7 Mosaicos Landsat generados para la región de Andes y Amazonía.

2.6.2.3. Evaluación de calidad de los mosaicos

Se realizó una evaluación visual de los mosaicos para cada año teniendo en cuenta los parámetros de cubrimiento, presencia de nubes, bandeo y presencia de sombras, con los cuales se clasificó la calidad de cada mosaico por año por carta en tres categorías. Los valores indican los umbrales por porcentaje de la superficie afectada por cada parámetro evaluado en cada carta, tal como se observa en la **tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros de calidad de mosaicos

Calidad	Símbolo	% Cubierto	% Ruido Nubes	% Ruido Bandeo	% 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

Es importante resaltar que para la categoría "mala", la calidad del mosaico es relativamente aceptable ya que, aunque no cubran un área significativa o presenta algún porcentaje de bandeo, sombras, ruido producido por sobreexposición en los píxeles o falta de datos por alta cobertura de nubes, aporta información para el proceso de clasificación. Los efectos adversos pueden provocar errores de clasificación y estos pueden ser tratados por medio de una serie de filtros utilizados en la etapa de clasificación.

Para la serie de 38 años en toda la Amazonía se construyeron en total 1955 mosaicos, de los cuales el 55% se evaluaron como buenos, 32% como regulares y 13% de baja calidad. A esta cifra hay que añadir 59 mosaicos en los que por falta de información no se pudo obtener una composición mínima para poder utilizar en la etapa de clasificación.

En las **figuras 8**, **Figura 9** **y** **10** se puede observar en color negro los vacíos de información o sin mosaico; Se puede considerar que los mosaicos tienen una calidad aceptable. Se resalta que en la región de Andes se presenta un mayor porcentaje de mosaicos regulares, malos o sin información debido a la falta de información en la serie de landsat, especialmente entre 1985 y 2000. A partir de este año se consiguió una mejor calidad debido a la estabilidad en el archivo de landsat, se incluyeron algunas imágenes landsat 4 para algunos vacíos presentados antes del año 1993, además de poder contar con landsat 5 hasta 2011. Landsat 5 y 7 cuentan con características similares, lo que permite combinar imágenes de estos dos sensores para componer el mosaico de mediana. Landsat 8 y 9 empieza a operar y debido a su gran estabilidad en la captura de imágenes se consigue mejorar la composición de mosaicos, de esta manera, se observa como en los últimos años la calidad de los mosaicos es superior y se reduce la calificación mala y regular en la región de Amazonía. A continuación, en las **figuras 7** **y** **8** se presenta la evaluación para cada año en las dos regiones.

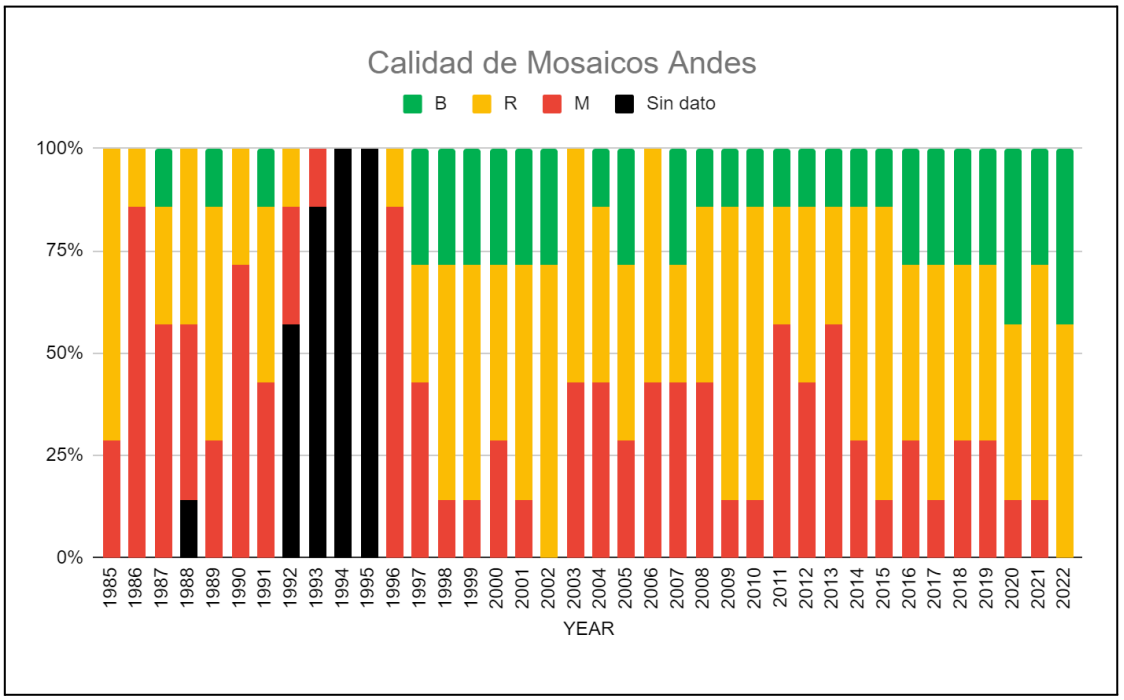


Figura 8 Calidad de mosaicos Andes.

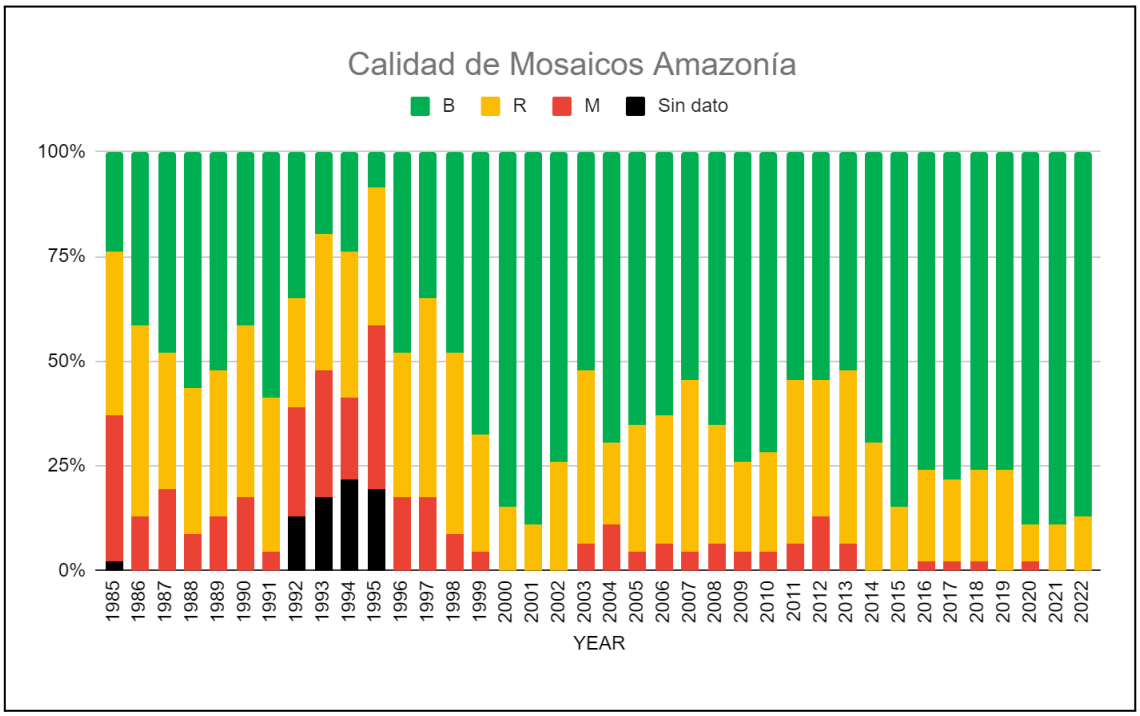


Figura 9 Calidad de mosaicos Amazonía.

Como se puede observar en la **figura 8**, para la región de Andes se obtuvo un mayor porcentaje de mosaicos de mala y regular calidad, 35% y 47% respectivamente. Solo el 18% de los mosaicos elaborados en esta región para toda la serie fueron calificados de buena calidad. En contraste, como se representa en la **figura 9**, en la región de Amazonía el 61% de los mosaicos fueron de buena calidad, 30% y 9% de regular y mala calidad respectivamente. Además, vale la pena resaltar que no se encontraron imágenes para la composición de mosaicos para 25 cartas en Andes y 34 cartas en Amazonía, esto principalmente entre el año 1992 a 1996 por la ausencia de imágenes o presencia de alta nubosidad.

Finalmente, en la **figura 10** se muestra el multitemporal de mosaicos donde se consolida la anterior información.

Figura 10 Calidad de los mosaicos 1985 - 2022.

2.6.3. Clasificación

2.6.3.1. Descripción metodológica

El proceso metodológico efectuado en la etapa de clasificación para la Colección 5.0, al igual que en las colecciones anteriores, comprende el uso del clasificador Random Forest (RF), el cual se fundamenta en algoritmos de inteligencia artificial (AI) y con ella, el aprendizaje automático (Machine Learning). A

partir de la construcción de diversos árboles de decisión se clasifican los datos de un modelo realizando una serie de particiones binarias, permitiendo así realizar predicciones futuras con base en esta clasificación, cabe aclarar que los árboles de decisión se establecen de forma aleatoria a fin de reducir la correlación entre los mismos (García, 2018).

El correcto funcionamiento del algoritmo en cuestión requiere de un set de datos de entrenamiento, para lo cual fueron utilizadas las muestras estables generadas en la colección anterior que abarca el periodo de tiempo entre 1985 a 2021, es decir, aquellos píxeles cuya clase de cobertura asociada se repite en todos los años de la serie temporal de imágenes. Durante el proceso, el intérprete puede excluir áreas donde el algoritmo aleatorio selecciona muestras que no cumplen con los criterios de la clase. Es importante resaltar que, debido a la extensión del territorio, las dos (2) regiones de los mosaicos, Andes y Amazonía, se subdividieron en 48 subregiones de clasificación conforme con los criterios del apartado Regiones de clasificación.

Posteriormente, se realizó la generación preliminar de la clasificación para los 38 años de la Colección 5 de MapBiomas Amazonía con base en las muestras generadas. La totalidad del proceso fue ejecutado en el ambiente de geoprocesamiento en la nube Google Earth Engine (GEE), siguiendo una secuencia de pasos iterativos los cuales se observan en la **figura 11**, en aras de obtener un producto de clasificación con calidad. A continuación, se describe a grandes rasgos cada uno de ellos:

- Definición de regiones de clasificación.
- Identificación de las muestras estables.
- Cálculo de variables (feature space) a partir del mosaico obtenido para cada año de la serie temporal, el cual cuenta con 141 variables, que incluyen: las bandas landsat espectrales, índices y fracciones espectrales. Adicionalmente, se aplicó el cálculo de reductores estadísticos para generar un valor único para cada píxel. Estos reductores fueron: mediana, mediana época seca, mediana época lluviosa, amplitud, desviación estándar, mínimo, mínimo y máximo del periodo seco, mínimo y máximo del periodo lluvioso[1].
- Cálculo de áreas a través de polígonos de exclusión definidos según el comportamiento del Mapa de MapBiomas Amazonía de la Colección 4 obteniendo una clasificación preliminar hacia el paso 5.
- Clasificación mediante muestras complementarias consideradas para cada clase de cobertura que se incluyen como geometrías manuales directamente desde EE de Google con la intención de ajustar el resultado obtenido con muestras estables iniciales.
- Finalmente, se aplica una serie de filtros temporales, espaciales, de frecuencia y gapfill para eliminar o reducir las inconsistencias de mapeo que pudieran persistir en la clasificación, cuyo orden y número de iteraciones ejecutadas varía según la región trabajada, a fin de generar una clasificación final coherente con la realidad del territorio. La cadena de procesamiento adoptada para la generación de la Colección 5 MapBiomas Amazonía en Colombia se muestra gráficamente en la **Figura 11.**

[1] Se recomienda revisar el Algorithm Theoretical Basis Documents – ATBD General para detallar cada uno de los reductores estadísticos.

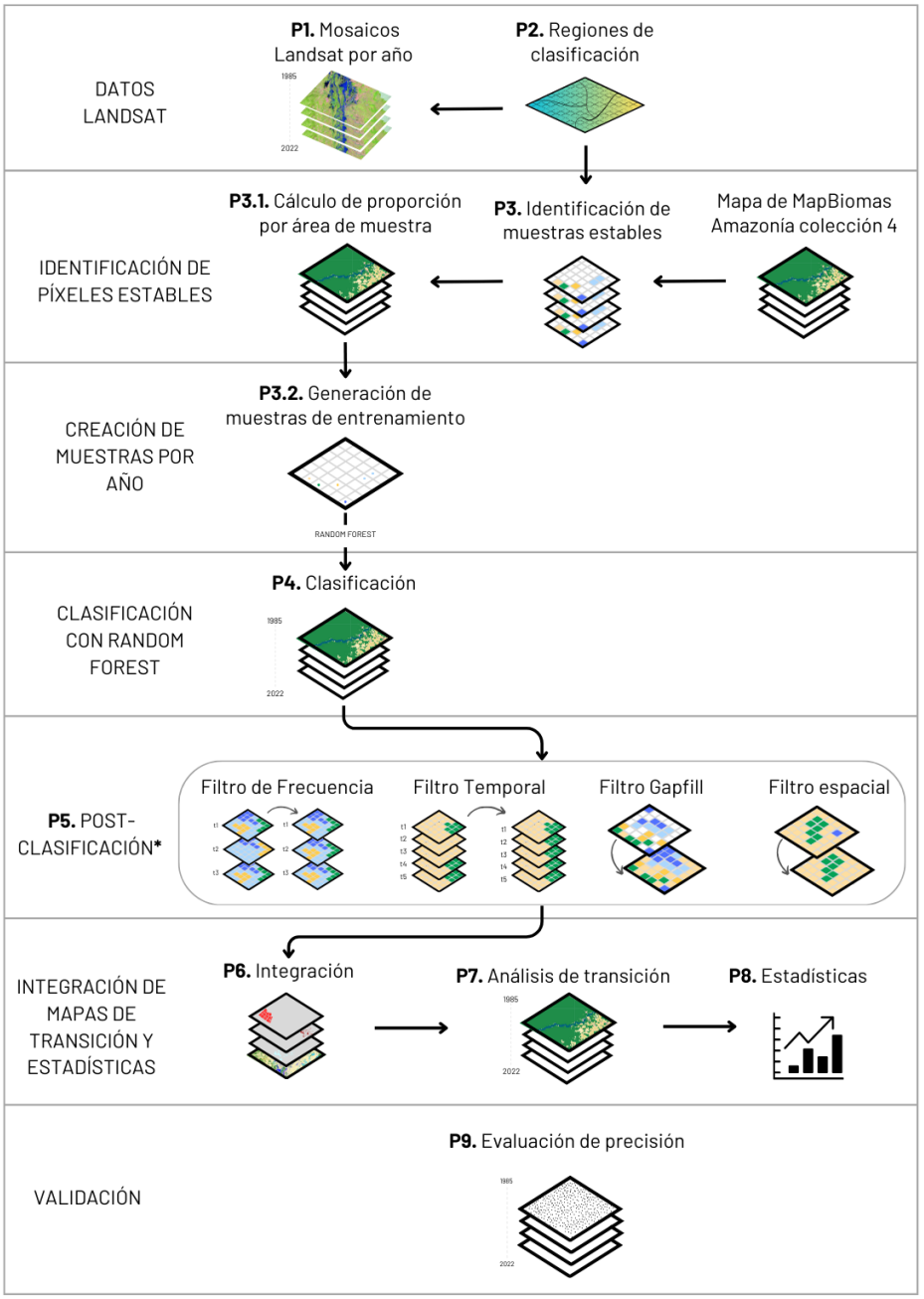


Figura 11 Flujo de clasificación MapBiomas Amazonía Colección 5.0.

Al igual que en la metodología abordada para la anterior colección, en la Colección 5 se logró establecer un determinado número de árboles de decisión a tener en cuenta para la clasificación obtenida de Random Forest, siendo generalmente de 80 iteraciones en cada región. Así mismo, con el objetivo de obtener un mayor detalle en la leyenda y para mejorar la calidad de algunas coberturas se consideró desarrollar metodologías específicas con capas binarias (0-ausencia, 1-presencia) para algunas de las coberturas que representan una mayor dificultad en el mapeo y/o que requieren de mayor detalle; Infraestructura urbana, bosque inundable, formación natural no forestal inundable, agricultura, pastos y minería, siendo estas posteriormente integradas con los resultados de clasificación del mapa general, de acuerdo a un orden de prioridad definido para cada categoría.

2.6.3.2. Regiones de clasificación

Las regiones de clasificación son áreas que permiten mejorar la identificación de clases con similitud espectral, esto se hace agrupando coberturas con reflectancias diferentes y separando zonas con coberturas semejantes, permitiendo una fácil discriminación entre ellas. Dicha regionalización no obedece a una zonificación biogeográfica de la Amazonía, sin embargo, se tiene en cuenta la delimitación de cuencas hidrográficas y ecosistemas de gran importancia como las zonas de alta montaña, páramos, sabanas de la Orinoquía y la serranía de Chiribiquete, además de las áreas de circundantes a las comunidades indígenas.

Para su delimitación, se utilizó como referencia el Mapa de Coberturas de la Tierra - Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia a Escala 1:100.000 (IDEAM, 2021), el Mapa de Ecosistemas Continentales y Marinos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM et al., 2017), zonificación hidrográfica de (IDEAM, 2013), Mapa de Bosque y no Bosque del 2017 (IDEAM, 2017), para la identificación de las zonas con mayor dinámica de cambio, además de la información de la colección 4 de MapBiomas Amazonía Colección 4 (Gaia Amazonas, 2022), con las cuales se obtuvo una separación adecuada a la dinámica territorial y la diversidad ecosistémica de la Amazonía colombiana.

Como resultado se definieron 48 regiones de clasificación como se observa en la **Figura 12**, 8 para la zona Andina y 40 para la Amazónica. Las regiones en los Andes abarcan desde la *30101* hasta la *30108*, complementariamente la Amazonía cubre desde la región *30201* a la *30240*.

Durante el proceso de división se tuvo especial énfasis en las zonas de alta dinámica de uso dada por los procesos de deforestación crecientes en la Amazonía. Las regiones que abarcan el llamado *"Arco de deforestación*[2]*"*son las siguientes: 30204, 30209, 30210, 30211 y 30226, todas ellas cubren parcialmente los departamentos de Putumayo, Caquetá, Meta y Guaviare, como se muestra en la **Figura 12** .

Otras divisiones particularmente importantes, se encuentran en las Sabanas de la Orinoquía, ya que la similitud espectral entre las zonas de mosaicos agrícolas y los pastos naturales, dificultan la diferenciación y posterior clasificación de las mismas. Para evitar esta confusión entre clases se crearon las regiones *30220, 30216, 30217* y *30212*, las cuales tienen una matriz predominantemente de sabana (pastos naturales). Por otro lado, en la zona Andes también se realizó una división para diferenciar las coberturas de mosaicos agrícolas y los pastizales naturales de alta montaña. Las regiones elaboradas para tal fin fueron *30104*, *30105*, *30106*, y *30108*, como se evidencia en la **Figura 12** .

Adicionalmente, se establecieron unas regiones detalladas asociadas a la presencia de comunidades indígenas y sus zonas de influencia, con el fin de detectar las dinámicas de uso del bosque a través de las chagras de cultivo. Las regiones estructuradas para tal fin son la *30234*, *30235*, *30236*, *30237 30238*, *30239 y 30240*. En la **Figura 13** se puede detallar la distribución espacial de las comunidades a lo largo de la Amazonía.

[2] Categoría con la que la información nacional del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM define el foco de deforestación en la Amazonía colombiana.

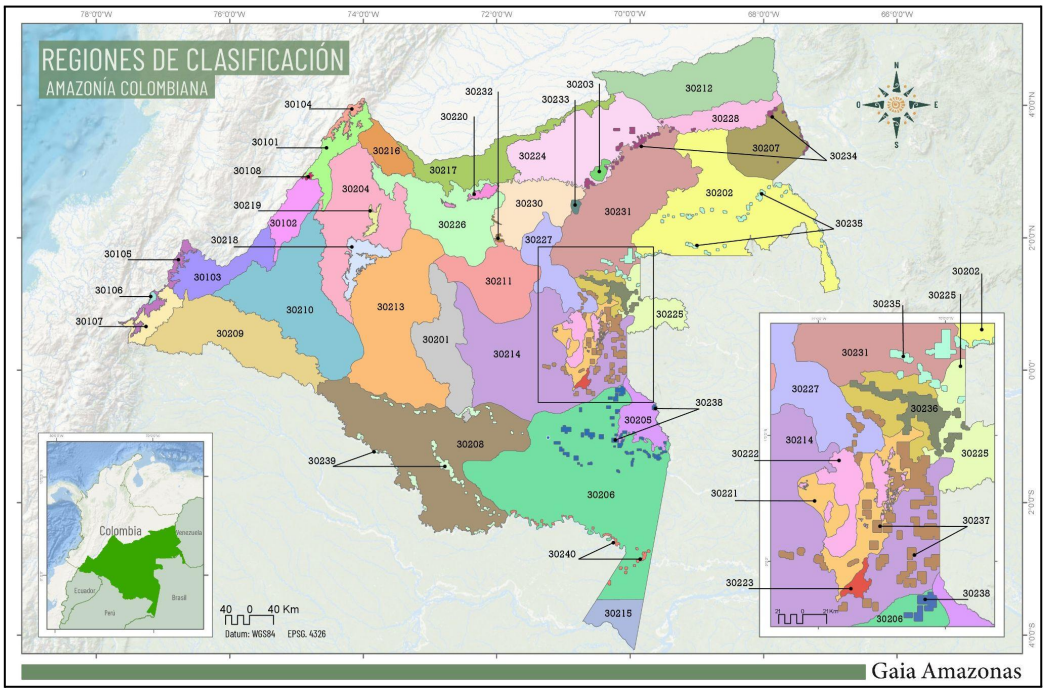


Figura 12 Regiones de clasificación Amazonía colombiana.

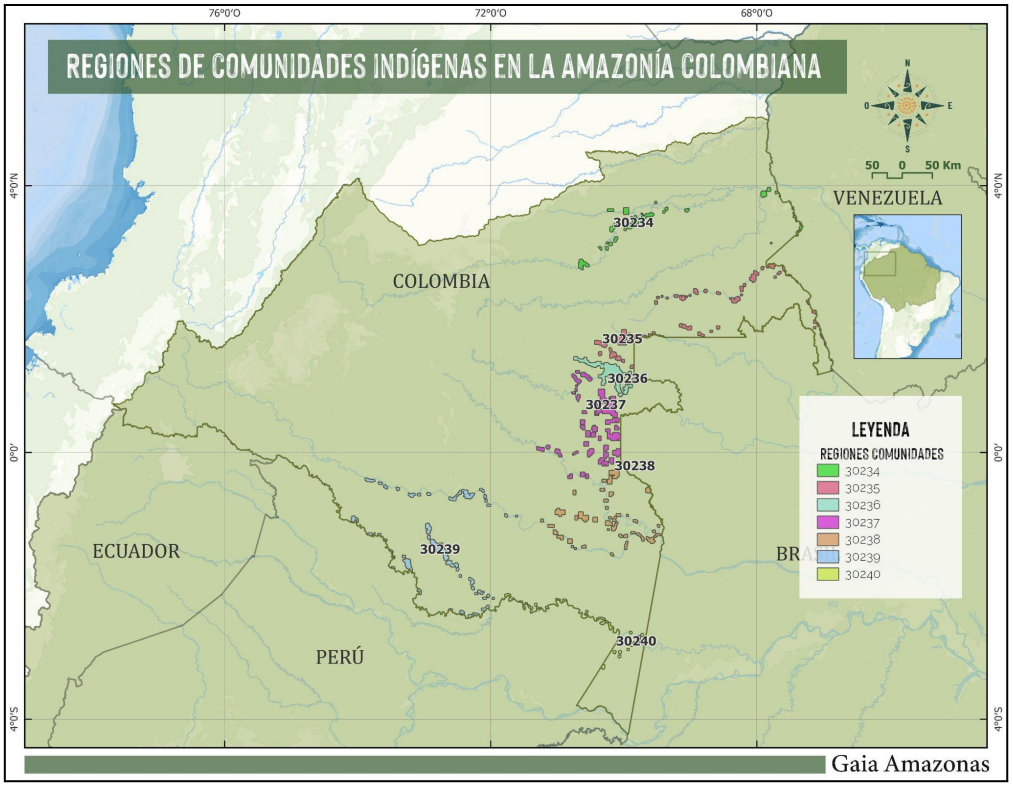


Figura 13 Regiones de comunidades indígenas en la Amazonía colombiana.

A continuación, se presenta la Tabla 4 con las principales características de cada área de trabajo definida para la colección 5 de MapBiomas Amazonía. Las descripciones biofísicas de las regiones elaboradas corresponden a la información extraída a través de álgebra de mapas de la capa de Ecosistemas Continentales y Marinos de Colombia (IDEAM et al., 2017).

Tabla 4. Clases interpretadas por regiones de clasificación en la Amazonía colombiana.

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Andes	30101	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Frío Húmedo, Frío SemiHúmedo, Frío SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo, Templado SuperHúmedo, Cálido Húmedo, Cálido SemiHúmedo y Cálido SuperHúmedo. El relieve está predominado por lomeríos, montañas, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,11,13,15,18 21,25,33	55
	30102	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical, Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Alternohígrico Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Frío Húmedo, Frío SemiHúmedo, Frío SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo, Templado SuperHúmedo, Cálido Húmedo, Cálido Semiárido y Cálido SemiHúmedo. El relieve está predominado por lomeríos, montañas, piedemontes, y valles.	3,6,13,21,23, 25,33	66
	30103	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Frío Húmedo, Frío SemiHúmedo, Frío SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo, Templado SuperHúmedo, Cálido Húmedo, Cálido SemiHúmedo y Cálido SuperHúmedo. El relieve está predominado por lomeríos, montañas, piedemontes, y valles.	3,6,13,15,21, 23,24,25,30, 33	44
	30104	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Extremadamente Frío SuperHúmedo, Muy Frío Húmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Frío Húmedo y Frío SuperHúmedo. El relieve está predominado por montañas.	3,13,21,25,33	66

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Andes	30105	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Extremadamente Frío SuperHúmedo, Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Frío Húmedo, Frío SemiHúmedo y Frío SuperHúmedo. El relieve está predominado por montañas, piedemontes y planicies aluviales.	3,13,21,23, 24,25,27,33	88
	30106	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SuperHúmedo y Frío Húmedo. El relieve está predominado por montañas, piedemontes y planicies aluviales.	3,13,21,24, 25,33	88
	30107	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo, Templado SuperHúmedo, Cálido Húmedo y Cálido SuperHúmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, montañas, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,13,21,23, 24,25,27,30, 33	77
	30108	Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Muy Frío Húmedo, Muy Frío SemiHúmedo, Frío Húmedo y Frío SemiHúmedo. El relieve está predominado por montañas	3,13	55
Amazonía	30201	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Litobiomas de la Amazonía; Caracterizada por presentar lugares de afloramientos rocosos, posee un Cálido muy Húmedo y Cálido Húmedo. El relieve que predomina son las mesetas o montañas con cimas aplanadas.	3,6,11,13,21, 24,25,33	88

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	30202	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,13, 21, 25,30,33	88
	30203	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical.; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,13,23, 33	99
	30204	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo, Cálido SemiHúmedo, Cálido SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo y Templado SuperHúmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, montañas, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,21, 24,25,33	77
	30205	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, peniplanicies y valles.	3,6,11,21,23, 25,30,33	55
	30206	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,13,21, 23,24,25,30, 33	99
	30207	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,21, 23,24,25,29, 30,33	88
	30208	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,21,23, 25,33	99

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	30209	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo, Cálido SuperHúmedo, Cálido SemiHúmedo, Templado Húmedo, Templado SuperHúmedo y Frío Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos,montañas, piedemontes, planicies aluviales, planicies fluviales y valles.	3,6,9,11,15,18 21, 23,24,25,30, 33	88
	30210	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo, Cálido SemiHúmedo, Cálido SuperHúmedo, Templado Húmedo, Templado SemiHúmedo y Templado SuperHúmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, montañas, piedemontes, planicies aluviales, y valles.	3,6,9,11,21, 23,24,25,30, 33	66
	30211	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo	3,6,11,21,24, 25,33	55
	30212	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo y Cálido SemiHúmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,13, 21,23,24,25, 33,35	99
	30213	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos y valles.	3,6,11,12,21, 15,18, 25,33	99
	30214	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, peniplanicies y valles.	3,6,11,21,24, 25,29,33	77

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	30215	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,21,24, 25,30,33	66
	30216	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo, Cálido SuperHúmedo, Templado Húmedo, y Templado SuperHúmedo. El relieve está predominado por lomeríos, montañas, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,6,9,11,12,21 ,23,24,25,33 ,35	66
	30217	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,6,9,11,12,21 ,23,24,25,33 ,35	99
	30218	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos y valles.	3,6,11,12,21,2 4,25,33	88
	30219	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo, Cálido SemiHúmedo y Templado Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, montañas planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,13, 21,23,24,25, 33	88
	30220	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,21, 23,24,25,33, 35	99
	30221	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies y valles.	3,6,11,13,21, 25,33	77

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
	30222	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies y valles.	3,6,11,13,21, 25,33	77
	30223	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos y valles.	3,6,11,13,21, 33	55
	30224	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,15,1 8,21, 23,25,33	55
	30225	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por peniplanicies y valles.	3,6,11,13,18, 25,21, 24,25,33	91
	30226	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, montañas, piedemontes, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,21, 23,24,25,33, 35	88
	30227	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos y valles.	3,6,11,13,21,2 5,33	66
	30228	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,21, 23,25,29,33	99

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
	30229	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies y valles.	3,6,11,21,25, 33	66
	30230	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,13, 15,18,21, 23,24,25,33	94
	30231	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,13, 21,23,24,25, 30,33	88
	30232	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos y valles.	3,6,13,21,25, 33	55
	30233	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,13,33	55
	30234	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,12,15, 18,21,23,24, 25,33	88
	30235	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, peniplanicies y valles.	3,6,11,21,24, 25,33	99

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	30236	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies y valles.	3,6,11,21,23, 24,25,33	66
	30237	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, montañas, peniplanicies y valles.	3,6,11,13,15,1 8,21, 23,24,25,33	55
	30238	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, macizos, peniplanicies, planicies aluviales y valles.	3,6,11,21,23, 24,25,30,33	99
	30239	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por altiplanicies, lomeríos, macizos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,21,23, 24,25,33	66
	30240	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Cálido Húmedo. El relieve está predominado por lomeríos, planicies aluviales y valles.	3,6,11,21,23, 25,33	88

2.6.3.3. Leyenda

A partir de información de referencia nacional y principalmente de la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra bajo la Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 (IDEAM, 2010), en conjunto con las clases de cobertura definidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se consolidó la leyenda para la colección 5.0 de la iniciativa MapBiomas Amazonía para Colombia, la cual incluye un total de 16 clases correspondientes a coberturas naturales y uso del suelo. En la tabla 5 se presenta la leyenda establecida a partir de un común acuerdo entre todos los países que conforman el límite RAISG, donde **(C)** se refiere a cobertura y **(U)** a uso.

Tabla 5. Leyenda aplicada para la Amazonía colombiana.

NIVEL 1				NIVEL 2				COBERTURA / USO
ID	**Clase nivel 1**	**Hex. code**	**Color**	**ID**	**Clase nivel 2**	**Hex. code**	**Color**	
1	Bosque natural	#1F8D49		3	Formación forestal	#1F8D49		Cobertura
				6	Bosque inundable	#026975		Cobertura
10	Formación natural no forestal	#D6BC74		11	Formación natural no forestal Inundable	#519799		Cobertura
				12	Formación campestre	#D6BC74		Cobertura
				29	Afloramiento rocoso	#FFAA5F		Cobertura
				13	Otra formación natural no forestal	#D89F5C		Cobertura
14	Agropecuaria y silvicultura	#FFEFC3		15	Pasto	#EDDE8E		Uso
				18	Agricultura	#E974ED		Uso
				9	Silvicultura	#7A5900		Uso
				35	Palma aceitera	#9065D0		Uso
				21	Mosaico de agricultura y/o pasto	#FFEFC3		Uso
22	Área sin vegetación	#D4271E		23	Playa, duna o banco de arena	#FFA07A		Cobertura
				24	Infraestructura urbana	#D4271E		Uso
				30	Minería	#9C0027		Uso
				25	Otra área sin vegetación	#DB4D4F		Uso
26	Cuerpo de agua	#2532E4		33	Río, lago u océano	#2532E4		Cobertura/Uso
27	No observado	#FFFFFF		27	No Observado	#FFFFFF		NA

En la tabla 4 se encuentra registradas las clases identificadas para cada una de las regiones definidas y a continuación, se describen a detalle estas tanto para la zona de Andes como para la Amazonía:

2.6.3.3.1. Leyenda Andes

Formación Forestal (ID:3)

Cobertura de tipo boscosa y arbustiva asociada a bosques de alta montaña (Bosque andino, altoandino y páramo), constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos y arbustales naturales, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, con altura del dosel superior a cinco metros (Castellanos, 2010). Se incluyen franjas de bosque ripario en cursos de agua de zonas andinas como también vegetación secundaria o en transición originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original.

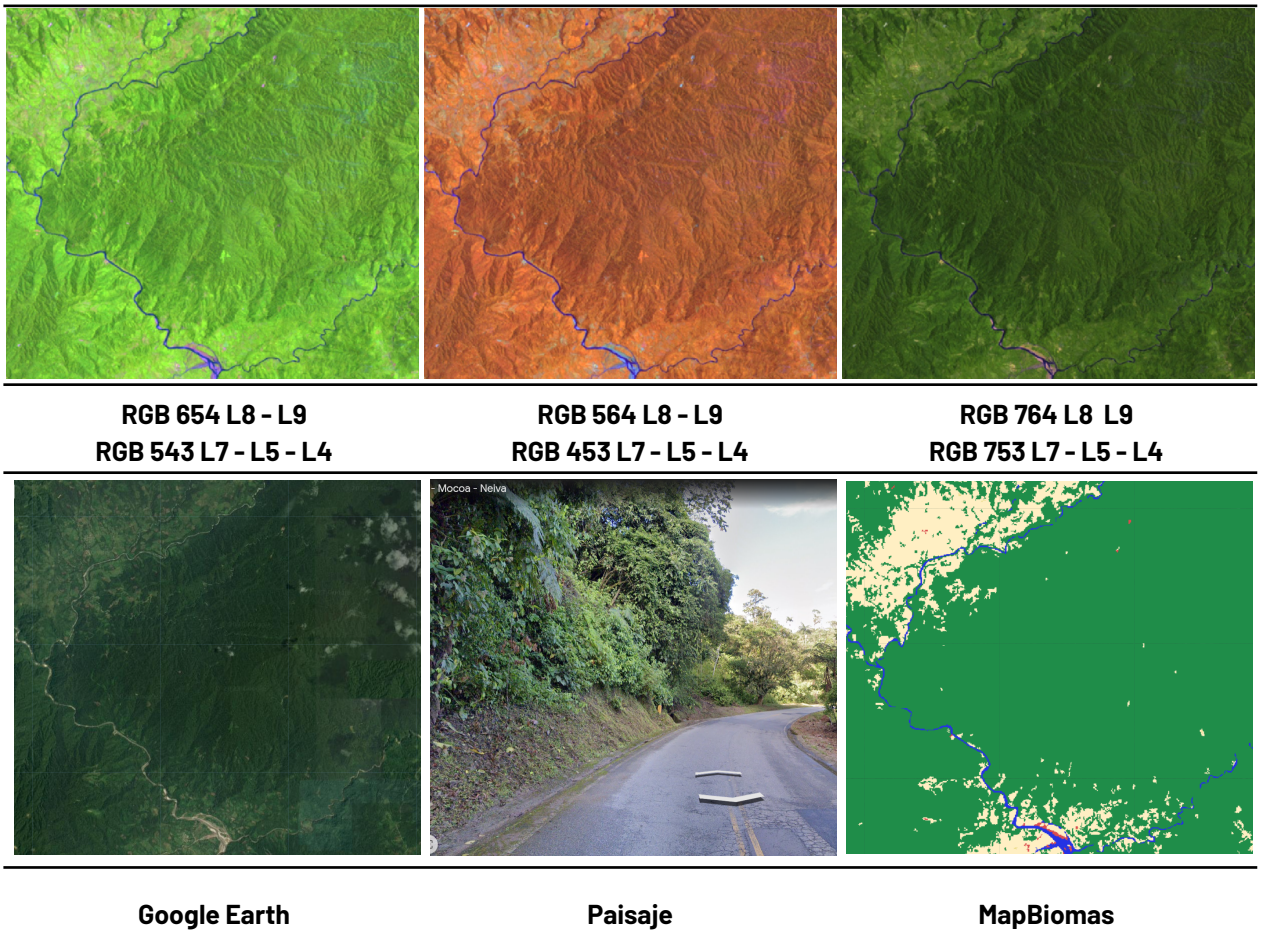


Figura 14 Respuesta Espectral Formación Forestal - Andes.
Ubicación: Vereda San Carlos - Cauca, Año: 2017, Escala: 1 km, Coordenadas: -76.5957 W, 1.4401 N.

Para su diferenciación las formaciones forestales de los Andes amazónicos colombianos responden a criterios fisonómicos estructurales fácilmente observables en imágenes de sensores remotos como son la densidad, sombras asociadas a la altitud y la condición de drenaje. Como se observe en la **figura 14**, en la imagen de satélite en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se presenta color verde claro con matices de verde oscuro, en una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan de color rojo intenso con matices oscuros, y en verdadero

color, se observa de tonos verdes oscuros profundos. La textura es altamente rugosa dada por las copas de gran tamaño.

Otra formación natural no forestal (ID:13)

Esta clase está conformada por herbazales de páramo, subpáramo y alta montaña, algunos herbazales quemados en transición y diferentes tipos de herbazales que pueden presentar algunos elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos (Castellanos, 2010). También se incluye la cobertura vegetal producto de sucesión ecológica natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrollada sobre pisos altitudinales de montaña como formaciones andinas, altoandinas, páramo y bosques de niebla, con poca o ninguna intervención antrópica, así como otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de porte bajo.

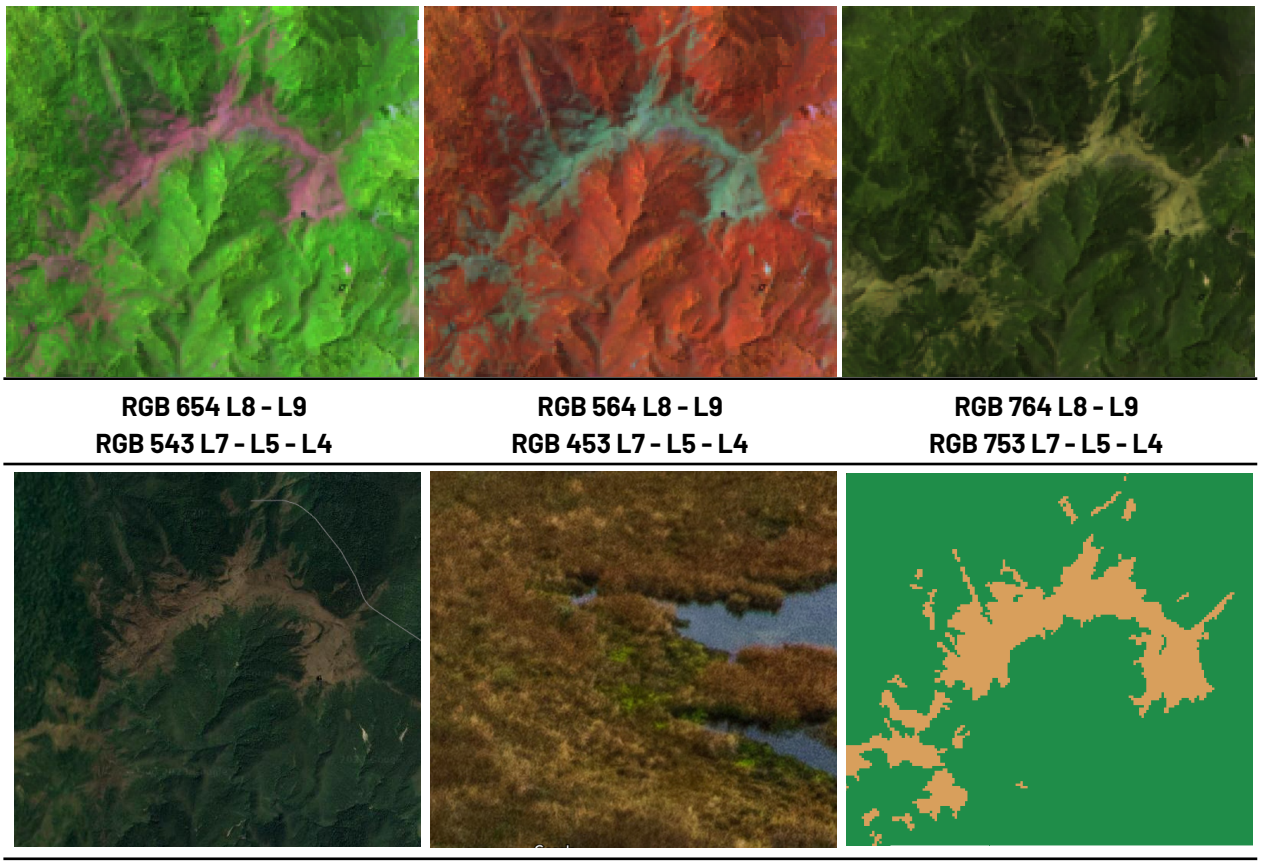


Figura 15 Respuesta Espectral Otra Formación Natural no Forestal - Andes.
Ubicación: Uribe - Meta, Año: 2020, Escala: 500 m, Coordenadas: -74.44771 W, 3.57368 N.

Las comunidades vegetales incluidas en esta clase están dominadas por elementos típicamente herbáceos que biológicamente corresponden a plantas no lignificadas o apenas lignificadas, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos. Las comunidades arbustivas forman un dosel irregular con plantas perennes con estructura de tallo leñoso

o lignificado con alturas entre 0.5 y 5 metros, se encuentran fuertemente ramificadas en la base y sin copa definida (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2021).

Como se evidencia en la **figura 15**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se presenta de color morado a marrón en tonos opacos. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan tonalidades de color verde pálido claro en zonas de mayor anegamiento matices de color azul verdoso oscuro. En verdadero color, se observa un tono amarillento-marrón. Presenta una textura fina a media heterogénea y un patrón asociado a zonas con poca intervención antrópica y afloramientos rocosos y relieves colinados. Finalmente, en la leyenda de la Colección 5 de MapBiomas se representan con un tono café claro.

Pasto (ID:15)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastizales con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%, donde son evidentes las prácticas de manejo como limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc. De igual forma, se incluyen los pastos con especies arvenses (consideradas por algunos productores como malezas para el cultivo principal), son frecuentes estas asociaciones debido principalmente a la falta de prácticas de manejo las cuales no permiten el desarrollo de especies distintas al pastizal, que superen alturas mayores a 1,5 metros.

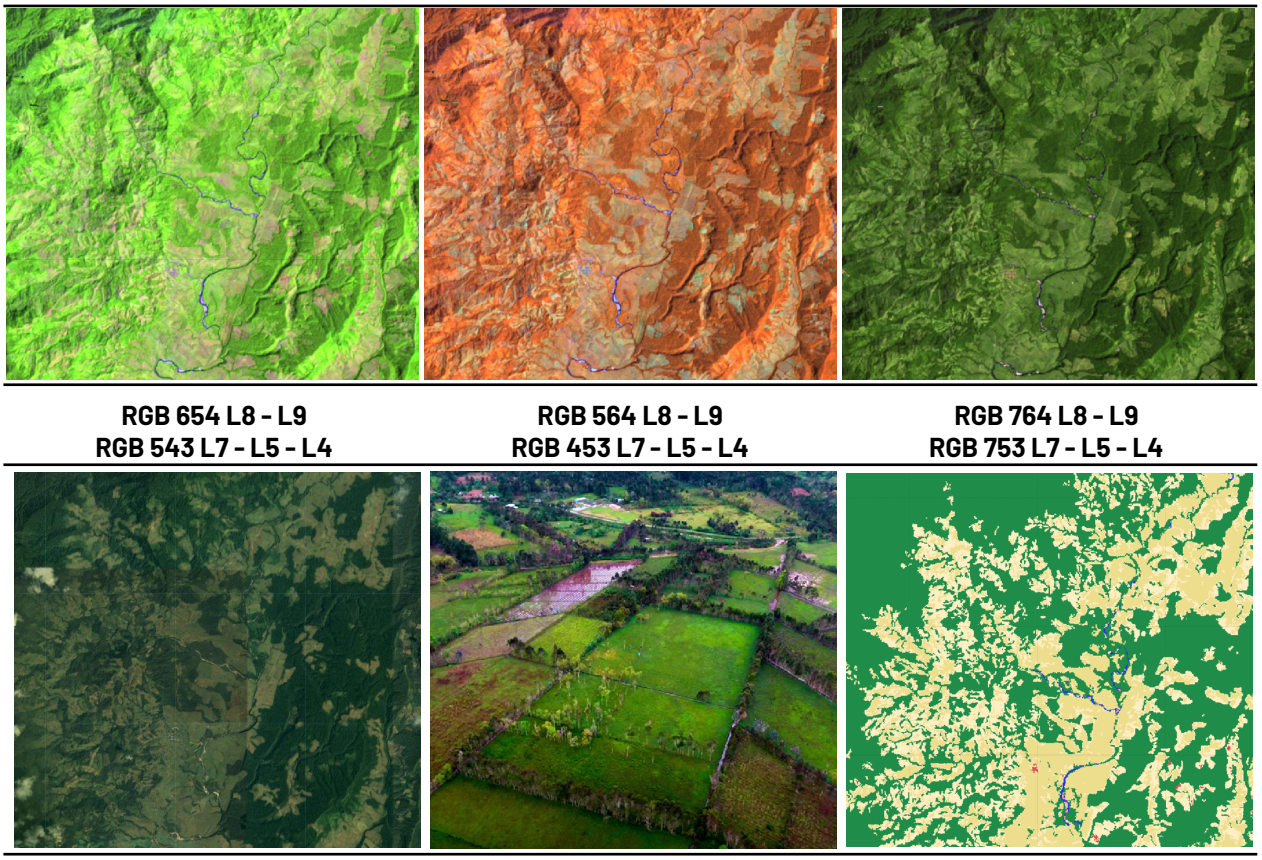


Figura 16 Respuesta Espectral Pasto - Andes.
Ubicación: Guacamayas - Caquetá, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas: -74.929 W, 2.362 N.

Tal como se presenta en la figura 16, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar un color verde muy pálido, con algunas tonalidades de amarillo y rosa claro, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar matices de amarillo, verde y naranja claro, en verdadero color se observa un tono verde pálido claro uniforme, en la Colección 5 de MapBiomas se observa de un tono amarillo opaco.

Agricultura (ID:18)

Áreas dedicadas al establecimiento de cultivos permanentes, cultivos transitorios y pastos. Incluye cultivos de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, y zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios.

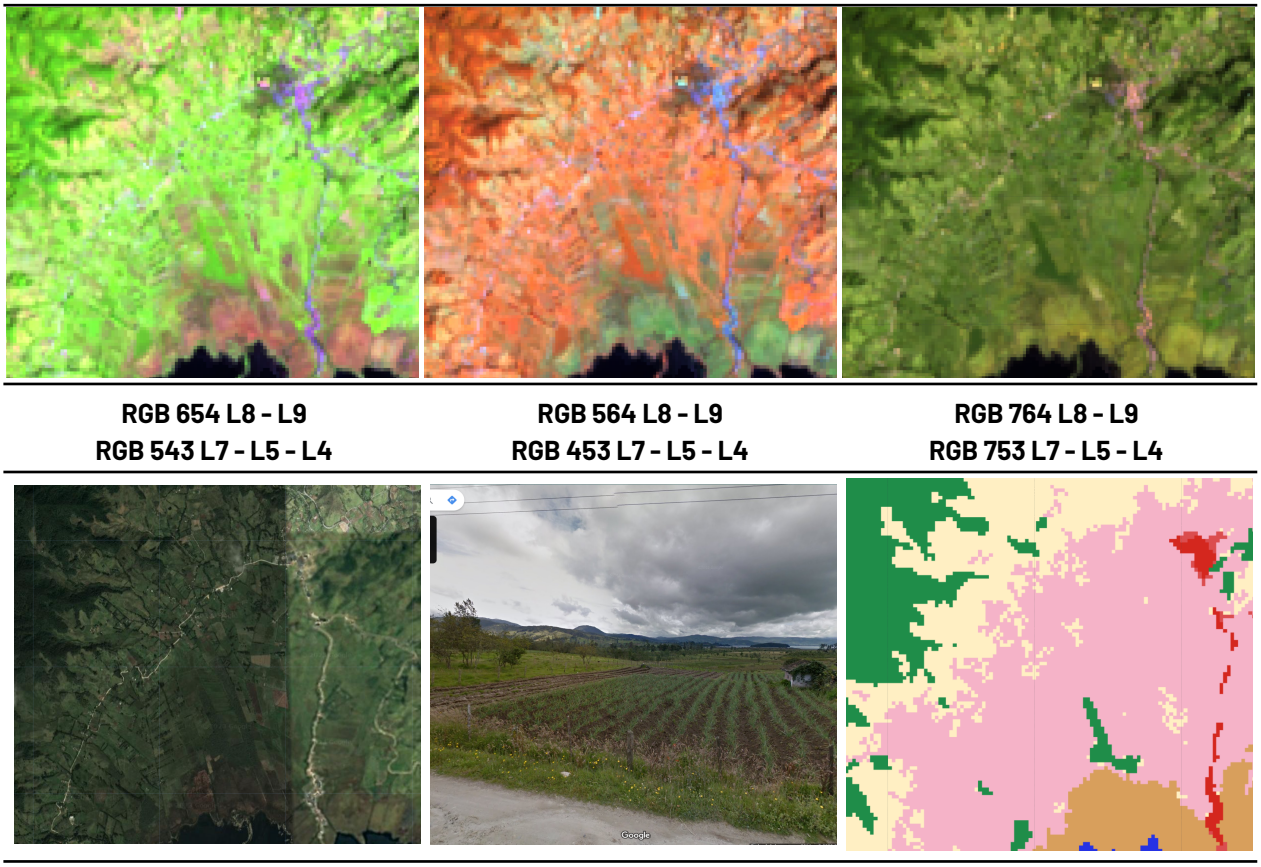


Figura 17 Respuesta Espectral Agricultura - Andes.
Ubicación: Laguna de la Cocha - Nariño, Año: 2014, Escala: 500 m, Coordenadas: -77.16618 W, 1.15057 N.

La respuesta espectral de esta clase varía según el tipo de cultivo, la especie cultivada y el estado fenológico del mismo. En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, esta puede ir de tonos mayoritariamente verdes claros hacia algunos matices rojizos (amarillo, naranja, rojo y rosado) mientras que, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan colores naranjas vivos en variación de tonalidades, dada las diferencias en los estados fenológicos. Presentan texturas finas, gruesas y homogéneas en patrones regulares como cúmulos

asociadas generalmente a zonas con asentamientos urbanos o caseríos como se evidencia en la **figura 17**. En la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con rosado intenso.

Mosaico de agricultura y/o pasto (ID:21)

Comprende una asociación de cultivos y pastos situados en terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

Se encuentran áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. Los cultivos transitorios se localizan en áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses con la característica de que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Los cultivos permanentes se relacionan con los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen, cultivos de herbáceas y cultivos arbustivos (Castellanos, 2010).

RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 18 Respuesta Espectral Mosaico de agricultura y/o pasto - Andes.
Ubicación: Santiago - Putumayo, Año: 2022, Escala: 1 km, Coordenadas: -77.003435W , 1.147148N.

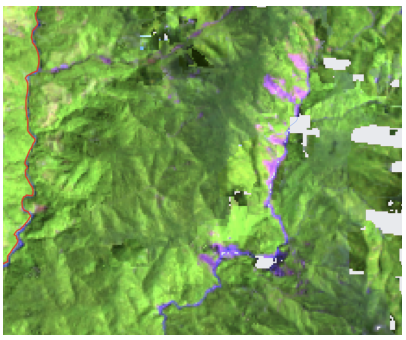
Generalmente, en la imagen de satélite se observa el mosaico de pastos y cultivos en un arreglo espacial geométrico característico que facilita su interpretación. Igualmente, las coberturas de cultivos se

aprecian en una amplia gama de tonos y colores debido a sus diferentes estados fenológicos y las variadas prácticas de manejo, adicionalmente se evidencian patrones de redes viales cercanas. Algunos cultivos de gran escala tienen un patrón dendrítico que siguen la disposición de las vías de acceso y las zanjas de drenaje para la exportación.

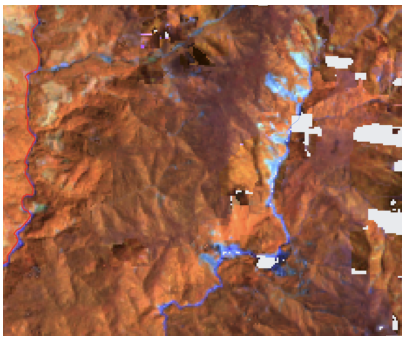
A nivel de firma espectral como se observa en la figura 18 esta clase de cobertura presenta en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, una matriz de tonos de verde claro, dentro de esta también se observan colores rosados los cuales corresponden a suelos en preparación, cultivos en diferentes estados fenológicos y a pastos respectivamente. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se presenta de color rojo muy claro dada la juventud de la vegetación, dentro de esta se observan algunas tonalidades cyan en pequeños parches. Presenta una textura fina homogénea siguiendo un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios. En la Colección 5 de MapBiomas se representan con un tono crema.

Playa, duna o banco de arena (ID:23)

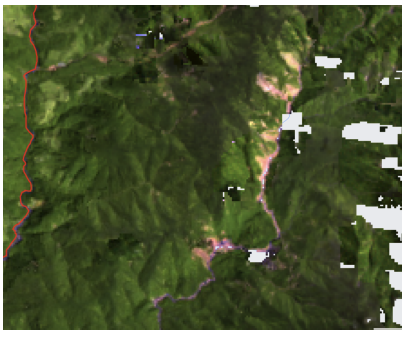
Esta cobertura se ubica principalmente en las zonas de inundación, en las vegas de los ríos, los bancos móviles o meandros abandonados, también se consideran áreas de terreno bajo y plano compuestas principalmente por suelos arenosos y pedregosos. Se consideran áreas donde la presencia de vegetación es menor al 2% de tipo arbustivo bajo y disperso así como también vegetación nula. Estos terrenos están compuestos principalmente por arena, tierra y rocas. Algunas de estas zonas presentan variaciones en forma o tamaño a lo largo de la serie temporal debido principalmente a las dinámicas de inundación de los ríos. Del mismo modo, se incluyen formaciones desérticas o xerofíticas de vegetación dispersa, no mayor al 20% de la cobertura.



RGB 654 L8 - L9
RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8 - L9
RGB 453 L7 - L5 - L4



RGB 764 L8 - L9
RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 19 Respuesta Espectral Playa, duna o banco de arena - Andes.
Ubicación: Vereda San Jorge - Frontera con Ecuador - Nariño, Año: 2020, Escala: 500m, Coordenadas: -77.44446 W, 0.61729 N.

Esta formación natural en la combinación de bandas RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, presenta tonalidades moradas intensas o morados medios, en algunos casos estos también tienen matices de rosas intensos; en la combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, presenta tonos azul claro, con azul grisáceo, en algunos casos se puede observar tonos azul acero; en la combinación de bandas RGB 764 Landsat 8 y 9, y RGB 753 Landsat 7, 5 y 4, está presenta tonos rosados opacos con matices morados opacos, en algunos casos se pueden ver tonos rosa malva, esta cobertura suele estar en los márgenes o rondas hídricas y en los meandros de los ríos, así como en las playas, son muy variables a lo largo de la serie temporal, esta cobertura se caracteriza por tener un textura media, en las zonas de playa de los afluentes hídricos y tiende a ser más suave en las zonas de vega.

Infraestructura urbana (ID:24)

Comprende superficies predominantemente de pequeños centros urbanos (pueblos) y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines residenciales, comerciales, industriales, de servicios y recreativos. Cabe mencionar que el piedemonte amazónico no cuenta con centros urbanos de gran extensión. La clase de infraestructura urbana está representada por algunos municipios, caseríos o edificaciones dispersas que cumplen con la unidad mínima cartografiable de mapeo (5 píxeles). Alrededor de los caseríos no hay presencia de infraestructura aérea, pero si se encuentran conectados por infraestructura vial. Algunos ejemplos son Sibundoy (Putumayo), El Encanto (Pasto), entre otras.

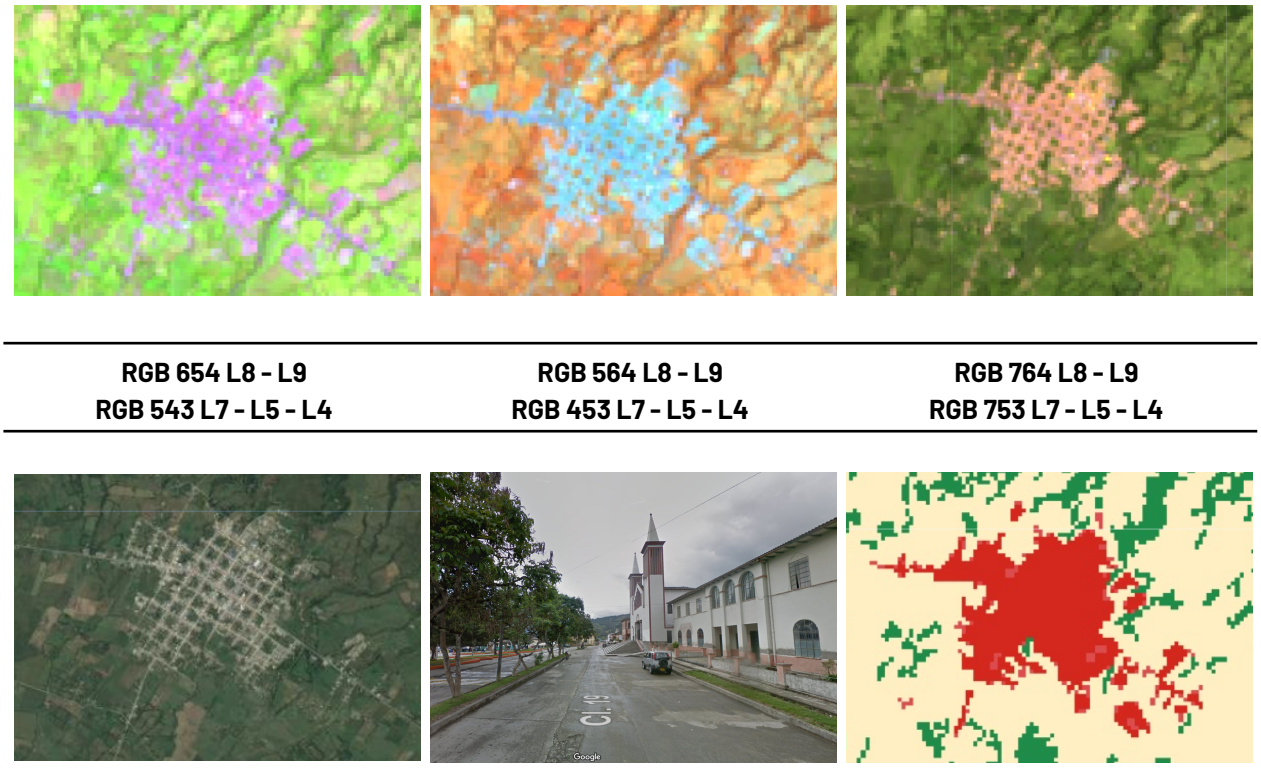


Figura 20 Respuesta Espectral Infraestructura urbana - Andes.
Ubicación: Sibundoy - Putumayo, Año: 2022 Escala: 500 m, Coordenadas: -76.91777 W, 1.20335 N.

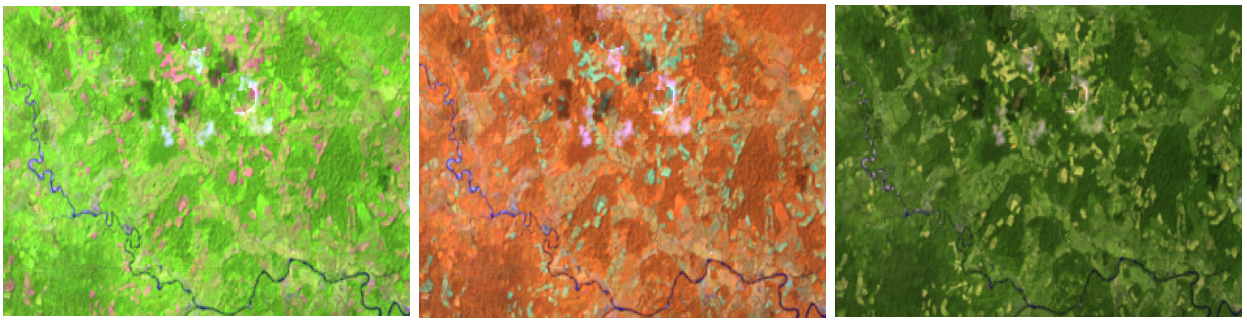
Como se observa en la figura 20 en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar color violeta brillante, del mismo modo para la combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observa en tonalidades azules claras a blancas, mientras que para la combinación RGB 764 Lansdat 8 y 9, y RGB 753 Landsat 7, 5 y 4 los tonos son más rojizos con combinacion de amarillos y rosados. Muestra una textura fina a media determinada por el tamaño y densidad de las construcciones. La homogénea distribución de las construcciones y la red vial le otorgan un patrón geométrico que se asemeja a una cuadrícula.

Otra área sin vegetación (ID:25)

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados (Castellanos, 2010) relacionados con actividades antrópicas como la deforestación, el dinamismo de la actividad agropecuaria, la expansión de la frontera agrícola etc... Pueden incluirse pequeñas áreas de roca expuesta y zonas arenosas naturales remanentes de las clases 29 y 23.

Esta clase comprende todas aquellas áreas que por procesos antrópicos se encuentran desprovistas de algún tipo de vegetación. Dentro de esta clase se incluyen zonas quemadas, áreas de cultivo en preparación o barbecho y los suelos desnudos. Debido a la incorporación de diferentes tipos de áreas

sin vegetación dentro de esta clase, los patrones de clasificación presentan gran variabilidad entre sí. Las quemas se identifican por presentar textura homogénea, patrones geométricos definidos, asemejando formas rectangulares principalmente, y coloraciones moradas oscuras intensas en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4; en RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 estas se caracterizan por presentar coloraciones verde aguamarina opacas y oscuras . Los suelos desnudos tienden a presentar coloraciones blanquecinas o tonos pálidos en las tres combinaciones, con textura heterogénea media.



RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 21 Respuesta Espectral Otra Área sin Vegetación - Andes.
Piamonte, Cauca, Año: 2022, Escala:500 m, Coordenadas: -76.294517 W, 1.064152 N

En una combinación RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 como se observa en la **figura 21** con tonalidades rosa que varían en tono claro a muy oscuros tendiendo al tono naranja, en algunos casos se puede presentar una mezcla de tonos rosa y marrón, en una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar color verde a violeta muy claro. Muestra una textura fina a media, en color verdadero se suelen ver de tonos amarillentos en zonas arenosas, como las playas de ríos, también se puede observar en tonos marrón o naranja en zonas arcillosas en las cuales se presentan deslizamientos de tierra, en la Colección 5 de MapBiomas se representan con un tono rosa suave

Minería (ID:30)

Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales de la actividad minera a cielo abierto o minería fluvial con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial, artesanal, ribereña o ilegal, además, se incluyeron piscinas de sedimentación asociadas a esta actividad, se presenta en pequeñas formas irregulares semejantes a parches alargados o redondeados y en algunos casos en formas geométricas bien definidas.

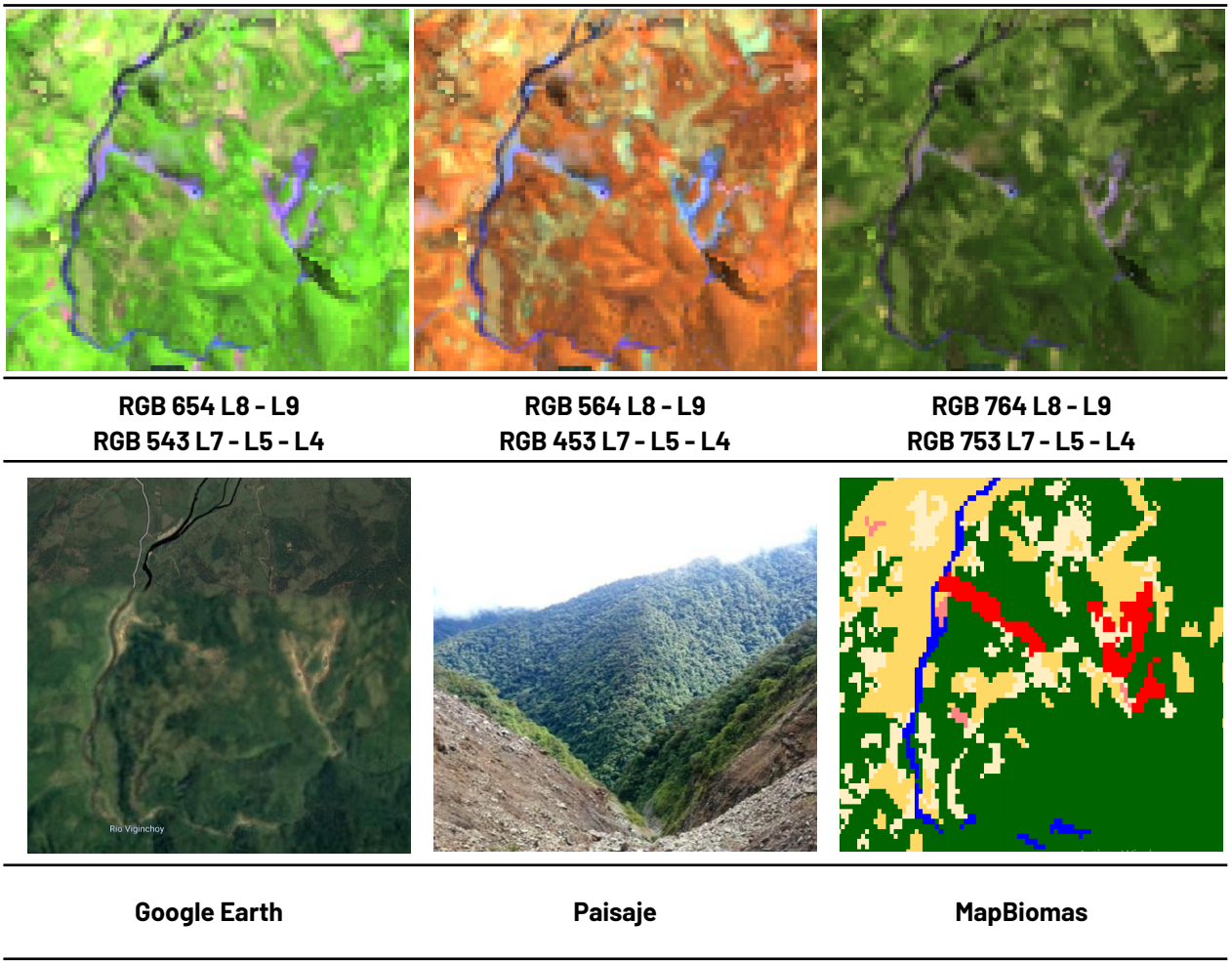


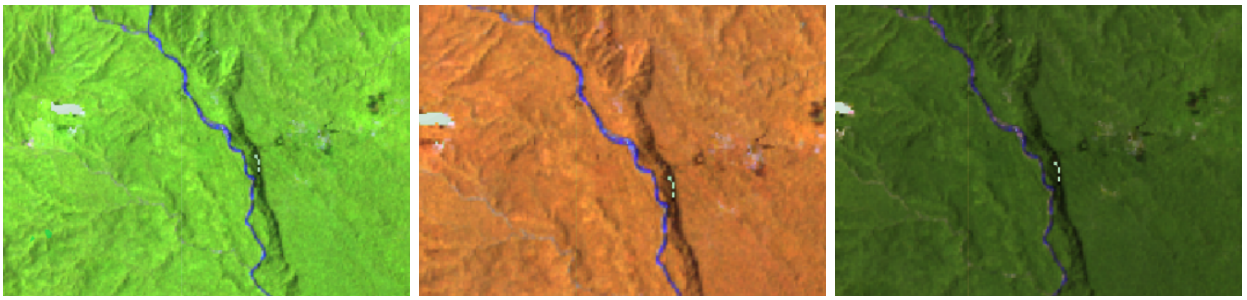
Figura 22 Respuesta Espectral Minería - Andes.
Ubicación: Santiago - Putumayo, Año: 2022, Escala: 200 m, Coordenadas:-76.979465 W, 1.102576 N.

Se caracteriza por tener una respuesta espectral similar a la clase 25, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 se observan en tonos morados vivos, a morados fuertes, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se pueden observar de igual manera en tonos violetas con tonalidades pasteles como se evidencia en la figura 22.

En verdadero color estas zonas se perciben en tonalidades amarillas opacas, debido a la remoción del suelo para la actividad minera finalmente, en la leyenda de la colección 5 de MapBiomas esta se ve representada por un tono rojo encendido.

Río, lago u océano (ID:33)

Corresponde a los cuerpos de agua permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos (Castellanos, 2010).



RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

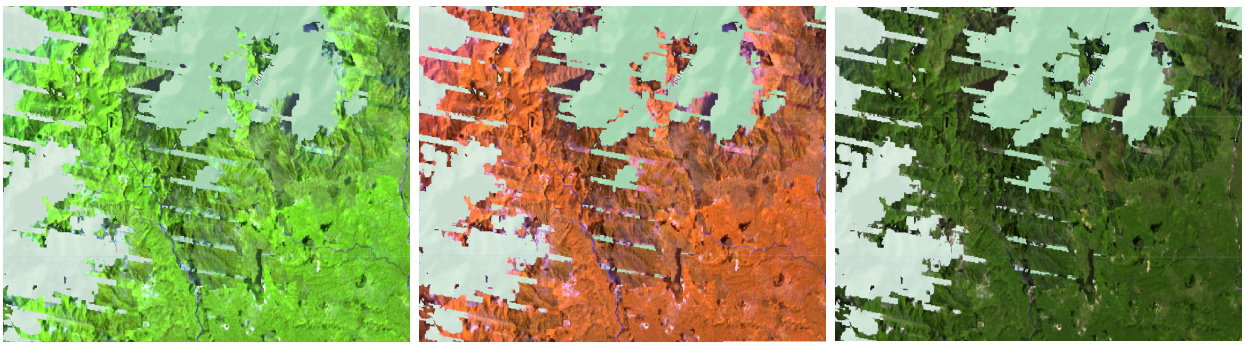
Figura 23 Respuesta Espectral Río, lago u océano - Andes.
Ubicación: Río Guamués - Putumayo, Año: 2022, Escala: 1 km, Coordenadas: -77.11743 W, 0.74229 N.

La respuesta espectral de los cuerpos de agua depende de la carga de partículas en suspensión por ende los ríos presentan color azul oscuro debido al contenido de sedimentos y materia orgánica en una combinación RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 como se observa en la figura 23; en una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observan de color azul oscuro casi negro, en verdadero color, este puede variar desde un amarillo opaco en algunos ríos arcillosos a tonos azules oscuros, y negros azulados, Esta cobertura muestra una textura muy fina homogénea con un patrón de drenaje que sigue los diferentes cursos hídricos en algunos casos de tipo dendrítico, en la Colección 5 de MapBiomas se representan con un tono azul rey.

No observado (ID:27)

Comprende algunas zonas del mosaico (generalmente las más altas y/o zonas con nubosidad persistente) las cuales tienen vacíos de información en toda la serie temporal. Como se puede visualizar

en la figura 24, hay pequeños parches sin información que son causados por las nubes que están presentes. En la Colección 5 de MapBiomas, y en verdadero color estas zonas presentan un tono blanco, en este último debido a la nubosidad.



RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 24 Respuesta Espectral No Observado - Andes.

Ubicación: Pasto - Nariño, Año: 2022, Escala: 3 km, Coordenadas: -77.103867 W, 0.820258 N

2.6.3.3.2. Leyenda Amazonía

Formación Forestal (ID:3)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) generalmente continuo con abundancia de plantas leñosas perennes y asociaciones ecológicas con predominio de palmas naturales. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen bosques densos y algunos bosques abiertos, así como también bosques fragmentados con vegetación secundaria cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como mosaico de agricultura y/o pasto, áreas sin vegetación o algún tipo de vegetación en transición.

Como se mencionó se encuentran otras formas biológicas naturales, tales como diferentes especies de palma y la guadua (Castellanos, 2010). Las especies que dominan esta cobertura comprenden orígenes nativos o foráneos presentes en áreas naturales o seminaturales. Estos bosques en general no han sido intervenidos o su intervención ha sido selectiva de tal forma que no se muestra alteración en su estructura original y sus características funcionales. Así mismo, se exceptúan de esta clase las plantaciones asociadas a monocultivos de palma africana o palma de aceite que han sido establecidos de manera antrópica.

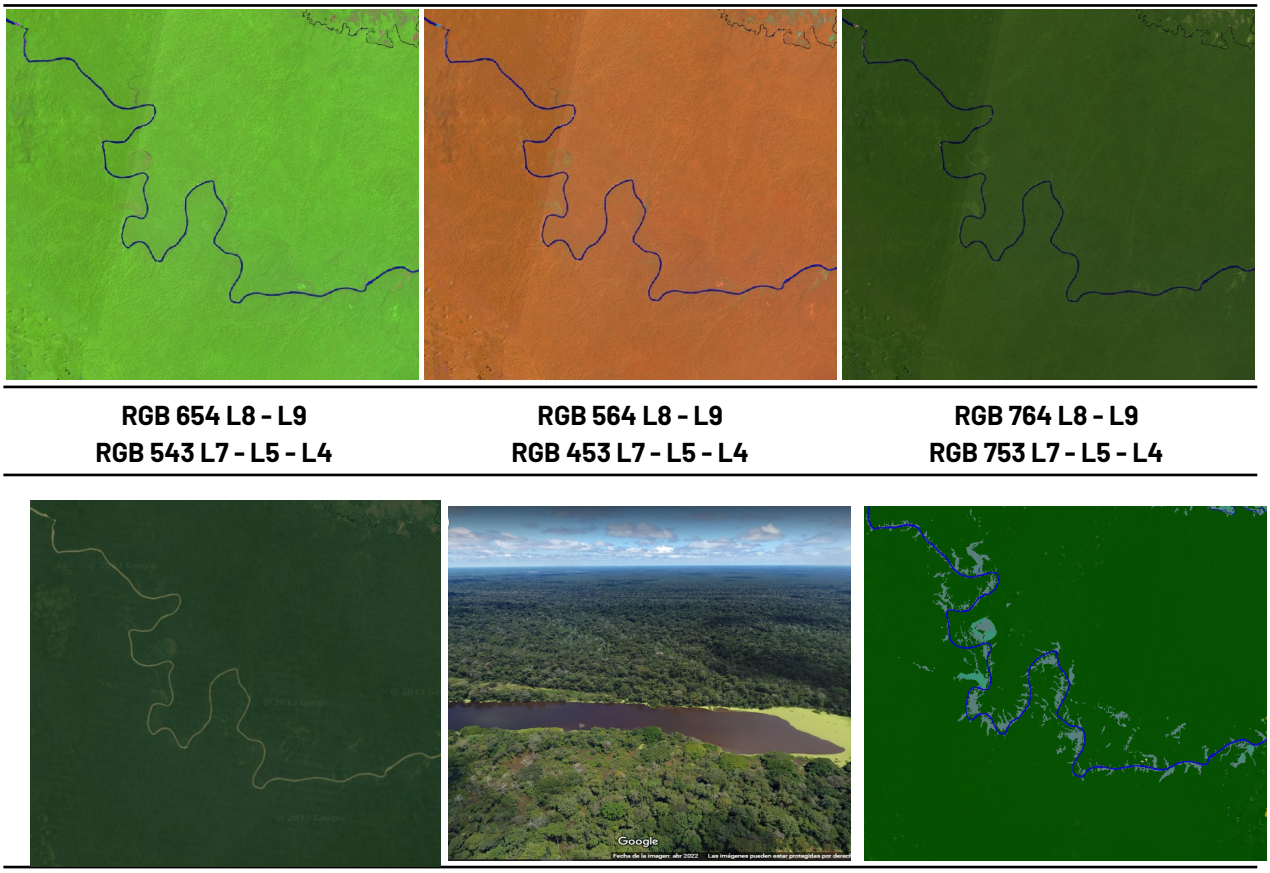


Figura 25 Respuesta Espectral Formación forestal - Amazonía.
Ubicación: Límite Caquetá - Amazonas, Año: 2021, Escala: 5 Km, Coordenadas: -72.9709 W, -0.1203 S.

En general esta cobertura presenta en la imagen de satélite un patrón de continuidad en cuanto a forma y fisonomía con algunas formaciones arbóreas secundarias regeneradas de manera natural que han alcanzado la densidad y altura de la matriz de bosque natural original. Para los bosques de galería el patrón es fácilmente distinguible pues bordea los cursos de agua por lo tanto se asocian los diferentes patrones de drenaje (dendrítico y sub-dendrítico).

Como se observa en la figura 25, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se observan tonalidades de color verde oscuro y claro con matices de colores marrón y violeta, dependiendo del estado sucesional, madurez de la vegetación y de la calidad de la imagen. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se presenta de color rojo intenso con matices de color violeta característico de la vegetación vigorosa. Presenta una textura que varía de

media a gruesa rugosidad dependiendo del tamaño de las copas y la altura del dosel. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono verde oscuro y se caracteriza por ser la cobertura más extensa en el territorio de la Amazonía colombiana (límite RAISG).

Bosque inundable (ID:6)

Cobertura boscosa con altura de dosel superior a 5 m adyacentes a cuerpos de agua (lóticos) las cuales corresponden principalmente a las vegas de divagación y llanuras de desborde sometidos a inundaciones permanentes o estacionales, mayores a 2 meses (Rincón et al., 2009), cuya vegetación presenta adaptaciones particulares a estas condiciones (López & Rodríguez, 2011) , caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad.

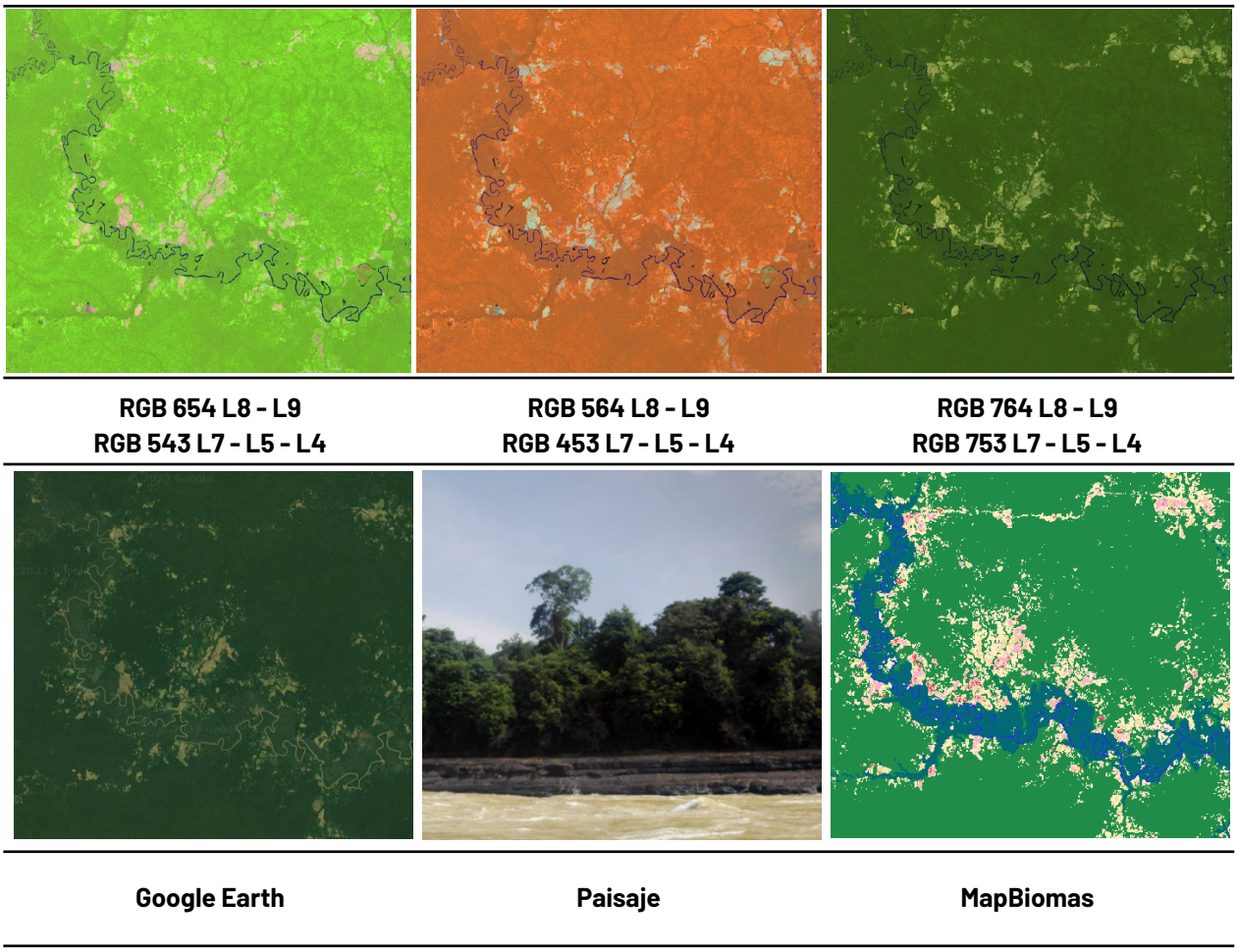


Figura 26 Respuesta Espectral Bosque inundable - Amazonía.
Ubicación: Miraflores - Guaviare, Año: 2022, Escala: 5km, Coordenadas: -72.118103 W, 1.1418 N.

En este tipo de coberturas en la combinación de falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7 , 5 y 4, se observan tonalidades de color verde oscuro y claro con matices de colores, dependiendo del estado sucesional de la madurez de la vegetación y de la calidad de la imagen. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se evidencias la coloración de rojos marrones, respuesta espectral similar al del bosque, sin embargo, su transición es muy notoria a raíz de que la textura de esta cobertura es fina en comparación con la rugosidad de la clase 3 como se evidencia en el ejemplo de la

figura 26. El patrón correspondiente a esta cobertura se caracteriza por encontrarse asociados a las planicies y valles aluviales de los ríos en forma de franjas alargadas y con diferentes amplitudes que van desde delgadas a anchas, dependiendo de la red hídrica (Rincón et al., 2009). En la colección 5 de MapBiomas esta clase se representa con un tono azul oscuro opaco.

Silvicultura (ID:9)

Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales), esta cobertura presenta en la imagen de satélite un patrón geométrico regular, constituido por las hileras de árboles generalmente de la misma edad.

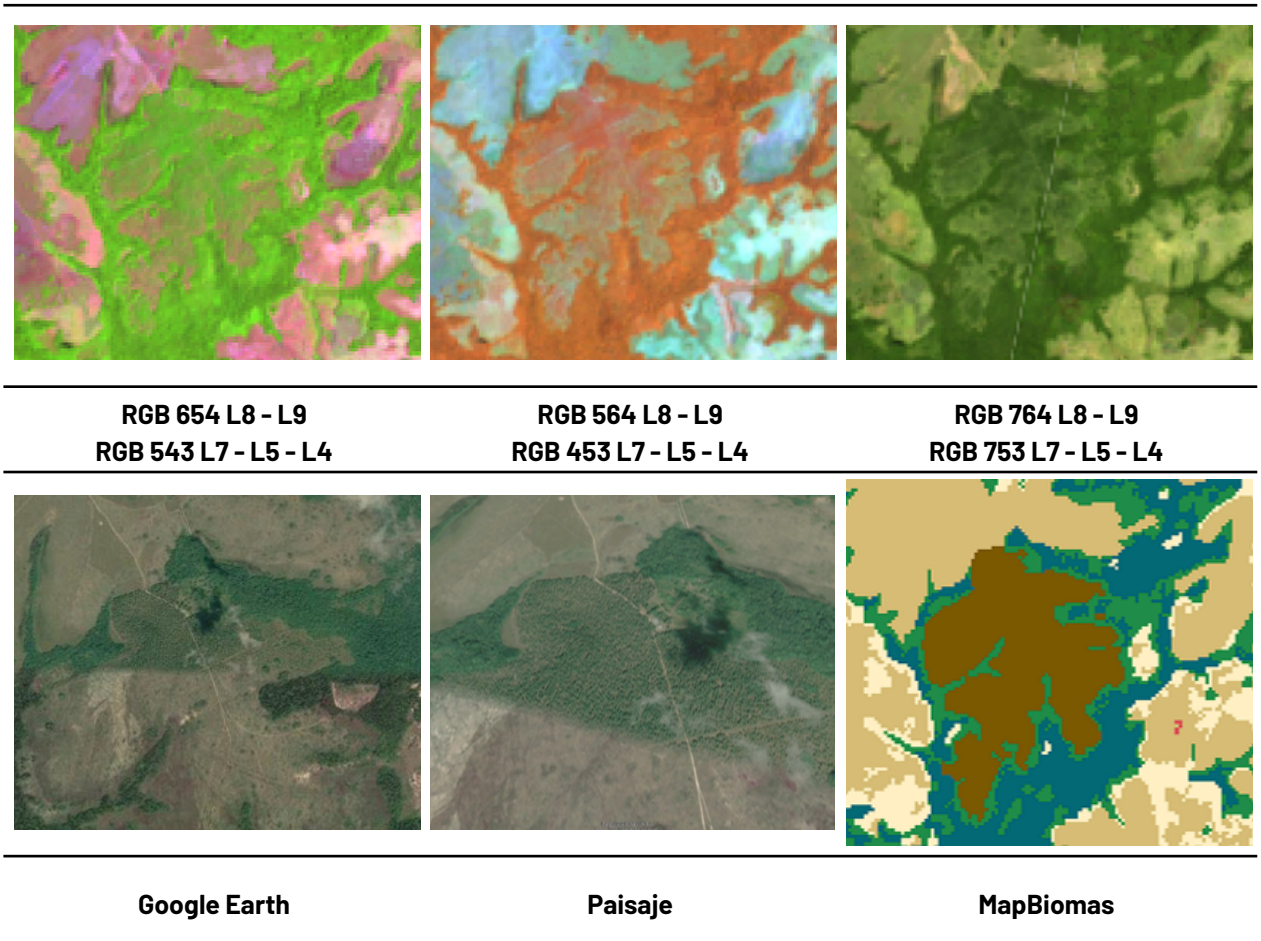


Figura 27 Respuesta Espectral Silvicultura - Amazonía.
Ubicación: Mapiripán - Meta, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas: -72.43987 W, 3.11498 N.

Para la identificación de esta clase en falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 se observan coloraciones verdes similares a las de bosque; oscuro para plantaciones maduras y verdes claros intensos con matices de color amarillo en los primeros estadios, en RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 predominan los colores naranja rojizos, y para la combinación RGB 764 Landsat 8 y 9, y RGB 753 en landsat 7, 5 y 4 las plantaciones presentan tonos verdes oscuro fácilmente confundibles

con las formaciones boscosas naturales, para su distinción entre estas clases se recomienda observar el patrón de distribución, generalmente, las plantaciones tienen formas regulares a cuadradas.

Formación natural no forestal inundable (ID:11)

Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea con cobertura mayor al 70%, en suelos permanentemente sobresaturados, que durante los períodos de lluvia (4-8 meses al año en la temporada de lluvias de Abril a Noviembre) pueden estar cubiertos por una lámina de agua. De igual forma es posible encontrar algunos individuos arbóreos en forma de parches y áreas con comunidades gregarias como por ejemplo los palmares o "morichales", dispersos, que en ningún caso superan el 2%, y que pueden estar rodeados de áreas de bosques riparios. (Rincón et al., 2009).

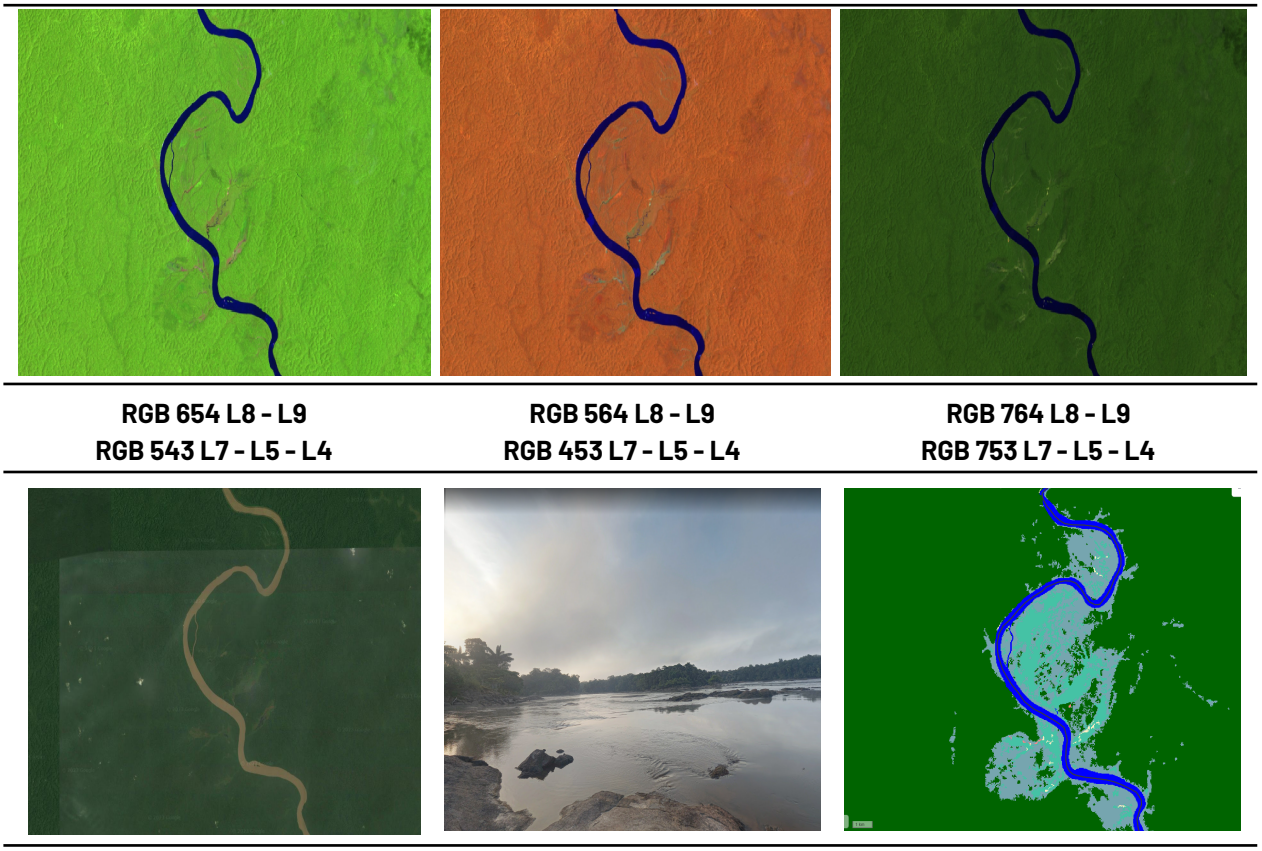


Figura 28 Respuesta Espectral Formación natural no forestal inundable - Amazonía. Ubicación: Río Apaporis - límite entre Vaupés y Amazonas, Año: 2022, Escala: 1km, Coordenadas: -70.91985 W, -0.16152 S.

Como se observa en la figura 28, para los herbazales inundables, la combinación de falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, asimismo, la combinación de falso color RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se observan tonalidades de color marrón o café con combinaciones naranjas oscuros. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, de igual forma, la combinación RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observa coloración verde en diferentes tonalidades, oscuras mayormente, con texturas finas heterogéneas, sin patrones definidos, estos se pueden encontrar fácilmente en las madres viejas, o ríos que cambiaron su cauce (Rincón

et al., 2009). Finalmente, en la clasificación de la colección 5 de MapBiomas esta se representa con tono verde aguamarina.

Formación campestre (ID:12)

Cobertura natural compuesta en su mayoría por vegetación de tipo herbácea (gramíneas) sobre tierra firme con presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos o de manera aislada, se localizan principalmente en áreas con limitaciones edáficas y clima similar a los suelos de la cuenca del Orinoco con un rango altitudinal entre los 300 a 800 m.s.n.m. Generalmente este tipo de cobertura se encuentra rodeada de bosques de galería en donde incluyen pastizales naturales y algunas áreas degradadas (minería) o afloramientos rocosos (Rincón et al., 2009).

Geomorfológicamente se presenta en superficie plana a ligeramente ondulada o disectada situada principalmente en altillanura, en algunos periodos del año puede estar cubierta por una lámina de agua que hace que los suelos estén permanentemente sobresaturados. En las sabanas de la Amazonía colombiana el elemento fisiográfico escarceo se asocia con esta cobertura, el cual constituye un microrrelieve en camellones de más de 60 cm de altura fácilmente distinguible por medio de sensores remotos.

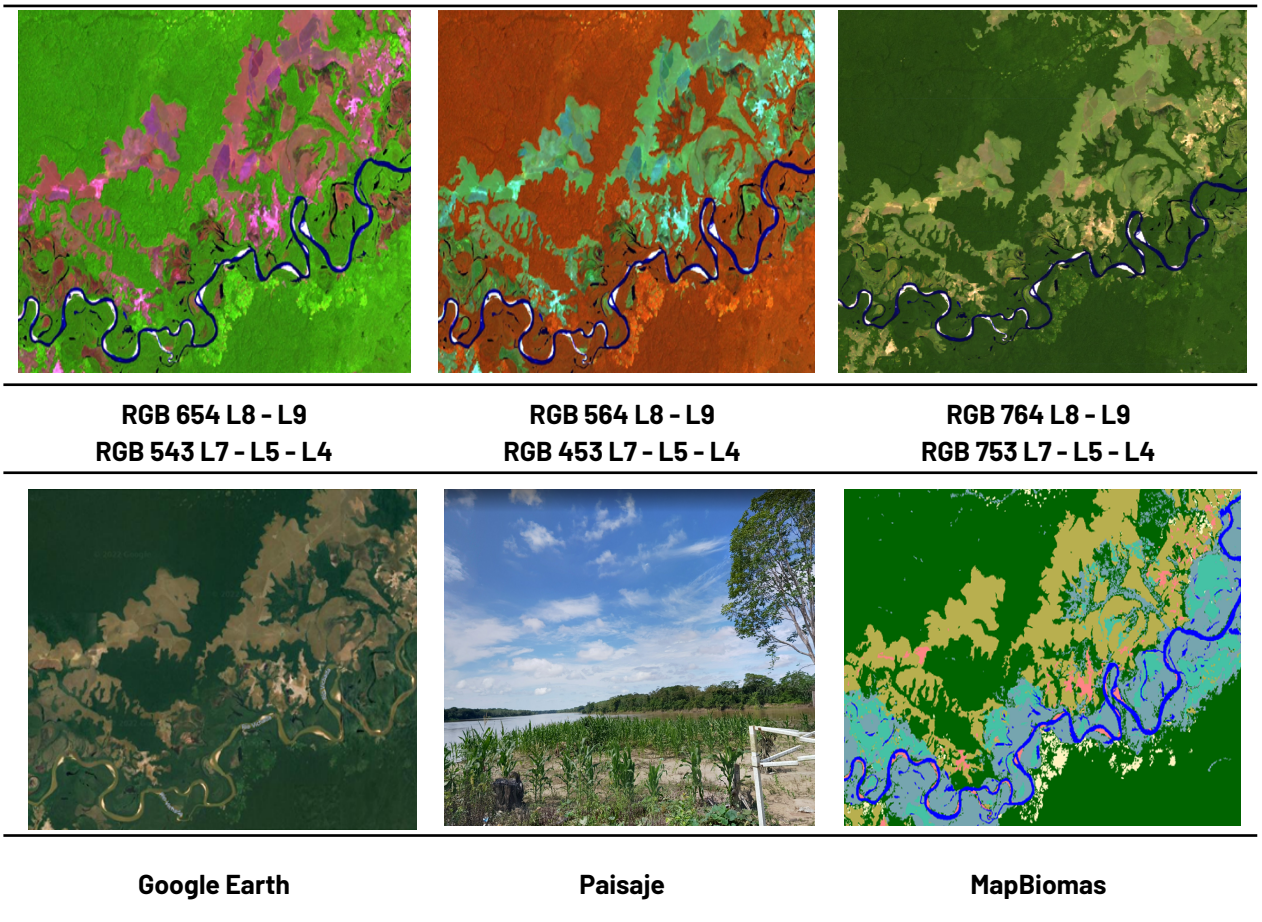


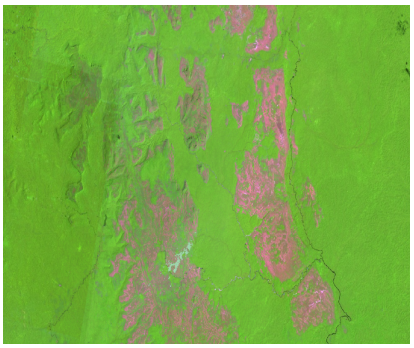
Figura 29 Respuesta Espectral Formación Campestre - Amazonía.
Ubicación: Río Vichada - cercanía a La Palometa (Cumaribo, Vichada), Año: 2022, Escala: 2km, Coordenadas: -69.0575 W, 4.4042 N.

Como se evidencia en la **figura 29**, la respuesta espectral de esta cobertura en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, presenta tonalidades de color Naranja en tonos ocres matices claros de oscuros a claros dependiendo la estacionalidad (temporadas secas/húmedas). En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observa un color verde manzana a verde esmeralda. La firma espectral visible o en verdadero color presenta tonalidades marrones a verdes ocre debido a la composición de gramíneas naturales. En cuanto a la textura presenta un comportamiento fino con un patrón dendrítico propio de los camellones formados en zonas planas de la Amazonía colombiana y la cuenca del Orinoco. Se caracteriza por circundar bosques de galería. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono verde ocre.

Otra formación natural no forestal (ID:13)

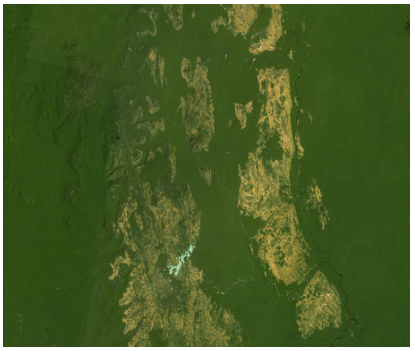
Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural los cuales forman una cobertura abierta. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999).

En general no presenta elementos de porte arbóreo de manera aislada; se desarrolla sobre afloramientos rocosos de bajo relieve o altitud y algunas áreas de suelos arenosos que no retienen humedad de manera significativa. Geomorfológicamente, este tipo de herbazales se desarrollan sobre geoformas constituidas por arenas eólicas, afloramientos rocosos y pedregosos del Escudo Guayanés. En la Amazonía colombiana su predominio está asociado a los departamentos de Caquetá, Vaupés y Guainía.



RGB 654 L8 - L9
RGB 543 L7 - L5 - L4

RGB 564 L8 - L9
RGB 453 L7 - L5 - L4



RGB 764 L8 - L9
RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 30 Respuesta Espectral Otra formación natural no forestal - Amazonía.

Ubicación: Cunare - Caquetá, Año: 2022, Escala: 5km, Coordenadas: -72.4312 W 0.4048 N.

Esta cobertura se interpreta en la Amazonía de Colombia como vegetación baja observable sobre algunos relieves colinados, afloramientos rocosos o algunos tepuyes de baja altitud. Como se observa en la figura 30 en la imagen satelital en combinación falso color RGB 764 Landsat 8 y 9, y RGB 753 Landsat 7, 5 y 4, se observan herbazales o vegetación abierta baja en color naranja en tonos ocres y marrones, similares a los herbazales, su diferenciación radica en la geoforma, las formas regulares y la gran cantidad de sombras que se generan en las imágenes. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se presenta de color verde oscuro. Presenta una textura heterogénea fina a media con un patrón asociado con relieves colinados, afloramientos rocosos y suelos con baja profundidad efectiva.

Pasto (ID:15)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastizales de formación antrópica con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%, son evidentes las prácticas de manejo como limpieza, encalamiento y/o fertilización, entre otras, de igual forma, se incluyen los pastos con especies arvenses con alturas menores a 1,5 metros. Sin embargo, en la Amazonía colombiana esta situación se mantiene durante pocos meses, es decir, su condición es variable en el tiempo. Se debe tener en cuenta que estas prácticas impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. (Ibarra, 2013; Rincón et al., 2009)

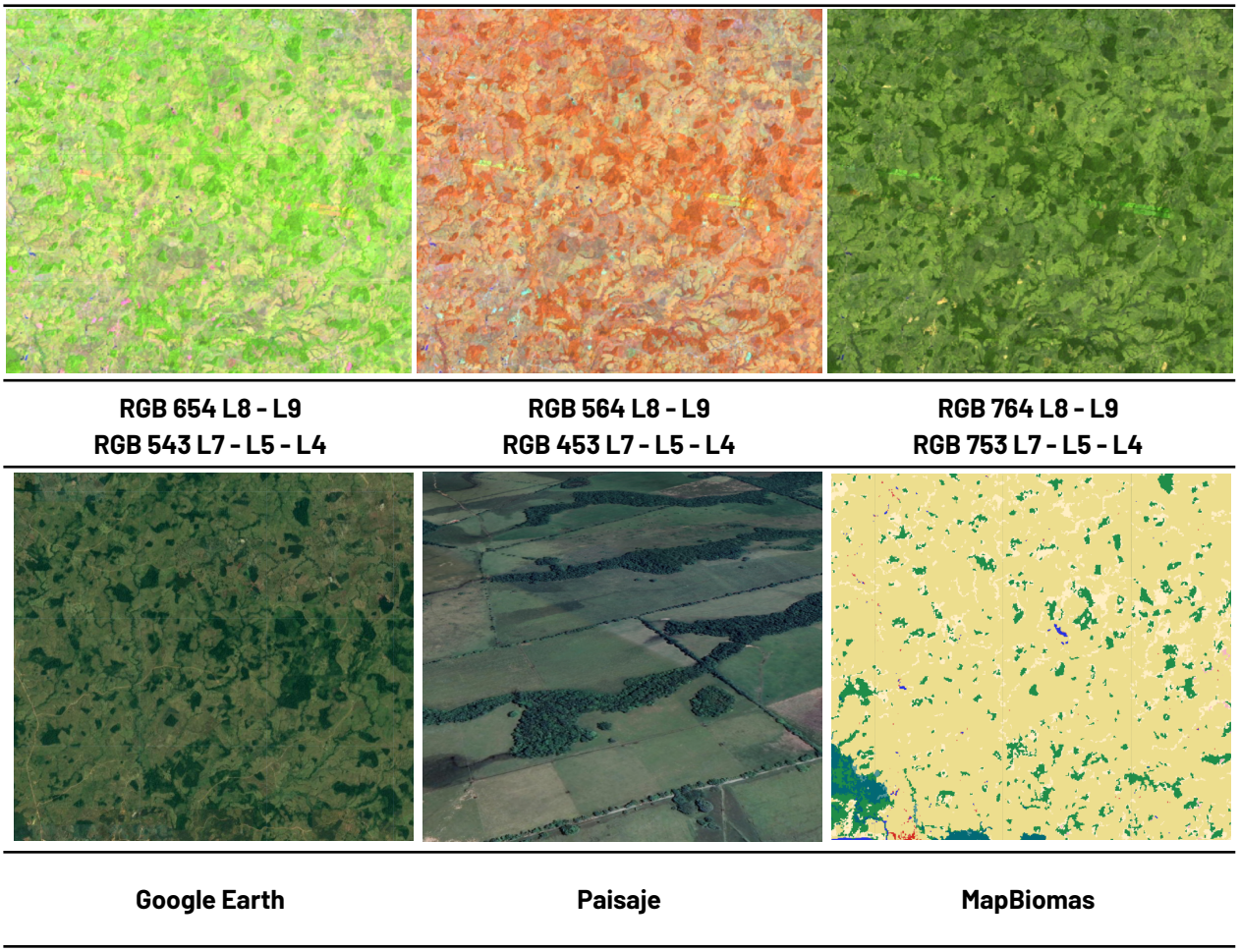


Figura 31 Respuesta Espectral Pasto - Amazonía.
Ubicación: Cartagena del Chaira - Caquetá. Año: 2022, Escala: 1 km, Coordenadas: -74.7068 W, 1.3421 N.

Esta cobertura se interpreta en la Amazonía colombiana como vegetación baja con claras intervenciones antrópicas observable generalmente por formas regulares y transiciones abruptas de coberturas como se observa en la figura 31. En la imagen satelital en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se observan herbazales abiertos baja en color naranja y amarillos en tonos ocres, similares a los herbazales, su diferenciación radica en los límites simétricos y presencia antrópica. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se presenta de color verde a naranjas opacos. Presenta una textura heterogénea fina a media con un patrón asociado con intervenciones antrópicas. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono amarillo ocre.

Agricultura (ID:18)

Incluye áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas, del mismo modo, se consideran cultivos de especies herbáceas y cultivos arbustivos. Estos casos poseen la particularidad de presentar el tipo de agricultura de las comunidades indígenas hacia el sur de la región;

en este escenario se presentan cultivos pequeños, cultivos para pancoger, los cuales van rotando en cercanías del pueblo o centro poblado. Su vida útil varía ya que depende de cada comunidad y los alimentos sembrados. (Ibarra, 2013; Rincón et al., 2009)

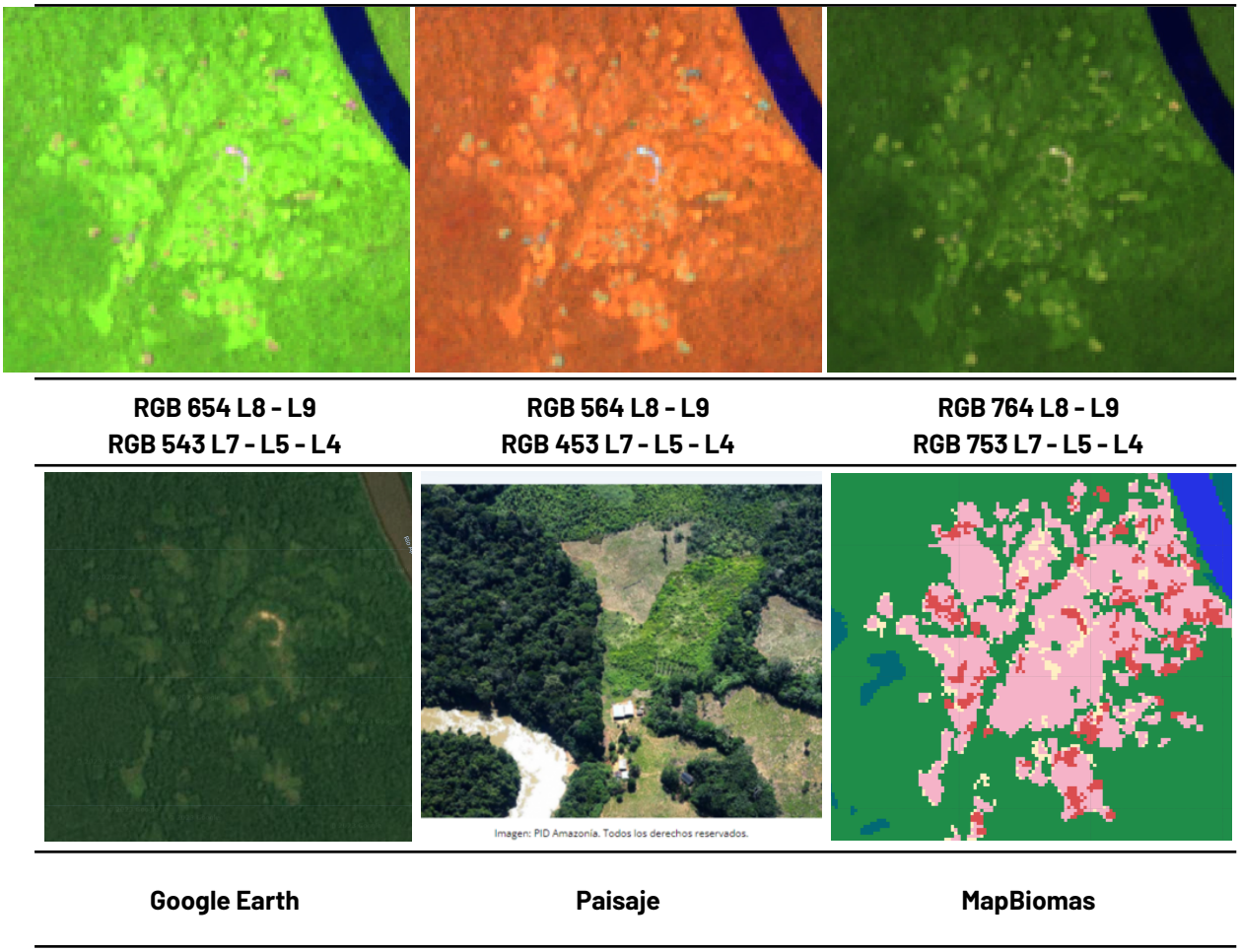


Figura 32 Respuesta Espectral Agricultura - Amazonía.
Ubicación: Vereda Ricaurte - Amazonas. Año: 2022, Escala: 500m, Coordenadas: -70.23927 W, -1.0626 S.

Presenta una amplia gama de tonos y colores debido a sus diferentes estados fenológicos y las variadas prácticas de manejo como se ven en las imágenes de los mosaicos, en la imagen satelital en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, se observan se presenta de color puede tener tonos mayoritariamente verdes claros con algunos matices rojizos (amarillo, naranja, rojo y rosado). En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observan tonalidades hacia los colores naranjas vivos en variación de tonalidades, dada las diferencias en los estados fenológicos. Presentan texturas finas gruesas homogéneas en patrones regulares como cúmulos asociadas generalmente a zonas con asentamientos urbanos o caseríos como se evidencia en la **figura 32**. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con color lila.

Mosaico de agricultura y/o pasto (ID:21)

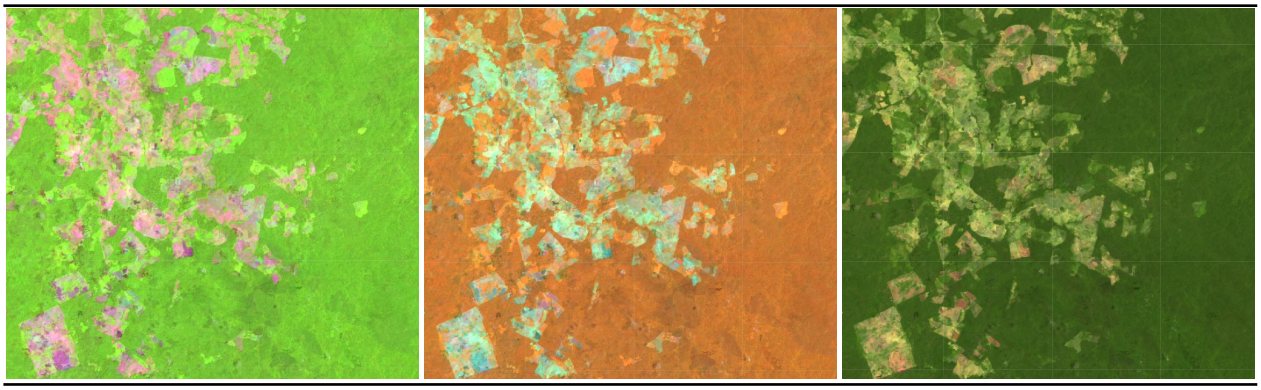
Comprende una asociación de cultivos y pastos situados en terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con

cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Se encuentran áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. Los cultivos transitorios se localizan en áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses con la característica de que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo (Castellanos, 2010)

Los cultivos permanentes se relacionan con los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen: cultivos de herbáceas, cultivos de porte arbustivos como café y cacao y cultivos de porte arbóreo como los frutales. Cabe mencionar que para esta colección (Colección 5) se excluye los cultivos de palma africana, ya que estos se incluyen como clase diferenciada identificado con el código ID:35, (Véase Palma aceitera este apartado). Finalmente, se incluyen suelos en preparación, post cosecha y algunas quemas.

En cuanto a los pastos se incluyen áreas dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años que pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente.

Cabe aclarar que esta clase de mosaicos de agricultura y/o pasto se da a raíz de que en algunas zonas los tamaños de parcelas tanto de agricultura como de pastos generan dificultad en su diferenciación y por ende en su clasificación debido a la resolución espacial de las imágenes Landsat.



RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Planet	Paisaje	MapBiomas

Figura 33 Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto - Amazonía.

Ubicación: San Vicente del Caguán - Caquetá, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -73.92037 W, 1.44532 N.

Como se observa en la figura 33, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, con una matriz de tonos de verdes intensos y colores amarillos los cuales corresponden a suelos en preparación, cultivos en diferentes estados fenológicos y a pastos respectivamente. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se presenta de color verde mazana muy claro a rojo claro. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono ocre.

Presenta una textura fina homogénea siguiendo un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios. Los cultivos de café localizados en Caquetá, Casanare y Meta se observan en la imagen de satélite en arreglos geométricos claramente definidos; la presencia de relictos de guaduales, redes viales y la alta densidad de viviendas rurales permiten identificar esta cobertura.

Cuando las áreas cubiertas por pastos limpios son abandonadas por períodos largos (seis meses a tres años, según la región) se puede presentar el crecimiento de arbustales y el desarrollo de vegetación de sucesiones tempranas que pueden confundirse con otro tipo de formación natural no forestal o vegetación secundaria o en transición.

Playa, duna o banco de arena (ID:23)

Las playas y dunas naturales se encuentran predominantemente en zonas de inundación, como las vegas de los ríos, los bancos móviles o meandros abandonados, y están caracterizados por suelos arenosos y pedregosos. En estas zonas la cobertura vegetal tiende a ser escasa o ausente, presentando variaciones en forma o tamaño a lo largo de la serie temporal, principalmente debido a las dinámicas de inundación de los ríos.

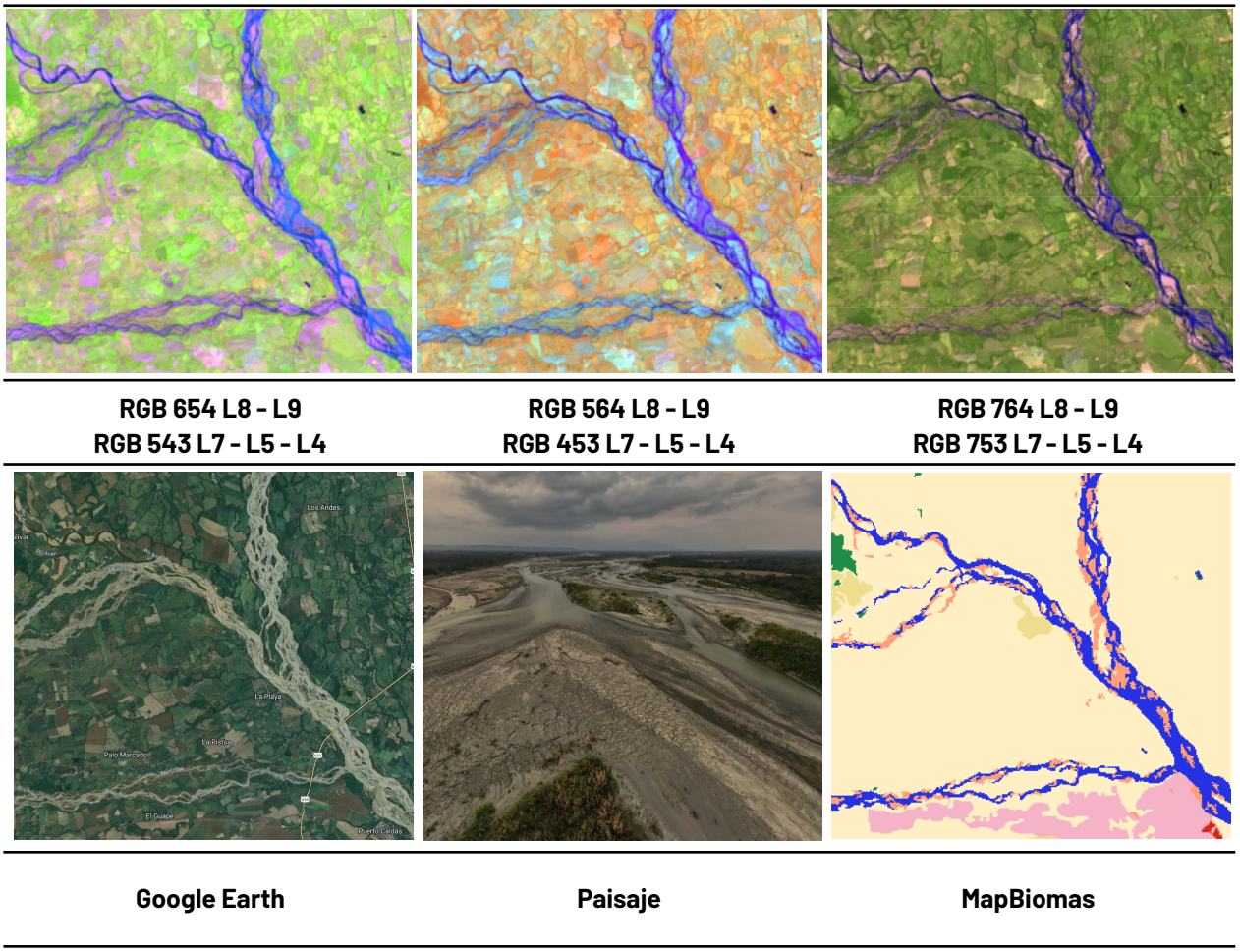


Figura 34 Respuesta Espectral Playa, duna o banco de arena - Amazonía.
Ubicación: Río Ariari - Granada - Meta, Año: 2019, Escala: 500m, Coordenadas: -73.73353 W, 3.50406 N.

La respuesta espectral de esta clase muestra una notoria similitud en las tres combinaciones de bandas mostradas en la Figura 34, evidenciando una textura fina y la ausencia de un patrón claramente definido. Específicamente, en la combinación RGB 654 y 764 de Landsat 8 y 9, así como en RGB 543 y 753 Landsat 7, 5 y 4, se aprecian tonos lilas y rosados en los bordes del río. Por otro lado, en RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 de Landsat 7, 5 y 4 predominan los matices azul celeste. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa en color salmón.

Infraestructura urbana (ID:24)

Comprende las áreas construidas destinadas al asentamiento de la población y la oferta de servicios como carreteras, transporte público, suministro de agua, energía, alcantarillado, telecomunicaciones y espacios públicos. En la Amazonía Colombiana la infraestructura urbana es variable y está influenciada por diversos factores, como la geografía, la biodiversidad y la densidad poblacional de la región. Aunque gran parte de la Amazonía se compone de áreas naturales y territorios indígenas, también alberga algunas ciudades y centros urbanos. Estos asentamientos varían en tamaño, desde pequeñas localidades hasta ciudades de extensión continua como Leticia (Amazonas), Florencia (Caquetá), Mocoa (Putumayo), Orito (Putumayo), Calamar (Guaviare), entre otros.

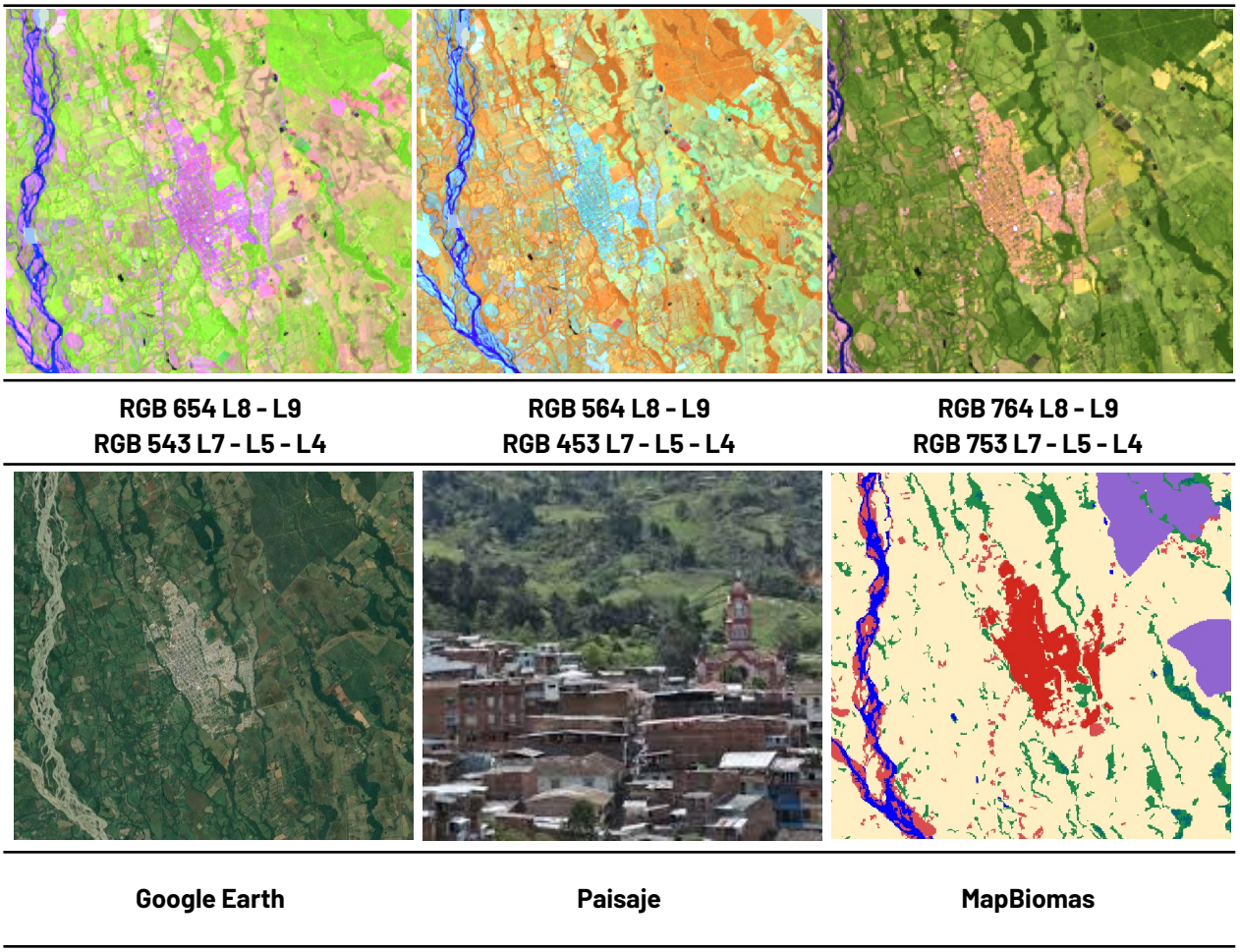


Figura 35 Respuesta Espectral Infraestructura Urbana - Amazonía.
Ubicación: Granada - Meta, Año: 2022, Escala: 1 km, Coordenadas: -73.7076 W, 3.5497 N.

Como se observa en la Figura 35, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4, la infraestructura urbana se caracteriza por presentar color violeta brillante con un patrón regular. Dentro de este patrón se pueden identificar pixeles verdes claros asociados a parques y vegetación urbanos. Del mismo modo, para la combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 7, 5 y 4 se observa en tonalidades azules claras a blancas. Muestra una textura fina a media determinada por el tamaño y densidad de las construcciones. La homogénea distribución de las construcciones y la red vial le otorgan un patrón geométrico que se asemeja a una cuadrícula.

Otra área sin vegetación (ID:25)

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados (Castellanos, 2010) relacionados con actividades antrópicas como la deforestación, el dinamismo de la actividad agropecuaria, la expansión de la frontera agrícola etc... Pueden incluirse pequeñas áreas de roca expuesta y zonas arenosas naturales remanentes de las clases 29 y 23.

Las zonas quemadas se refieren a las zonas afectadas por incendios recientes, donde los materiales carbonizados todavía están presentes de manera localizada tanto en áreas naturales como seminaturales, tales como bosques, cultivos, sabanas y arbustales.

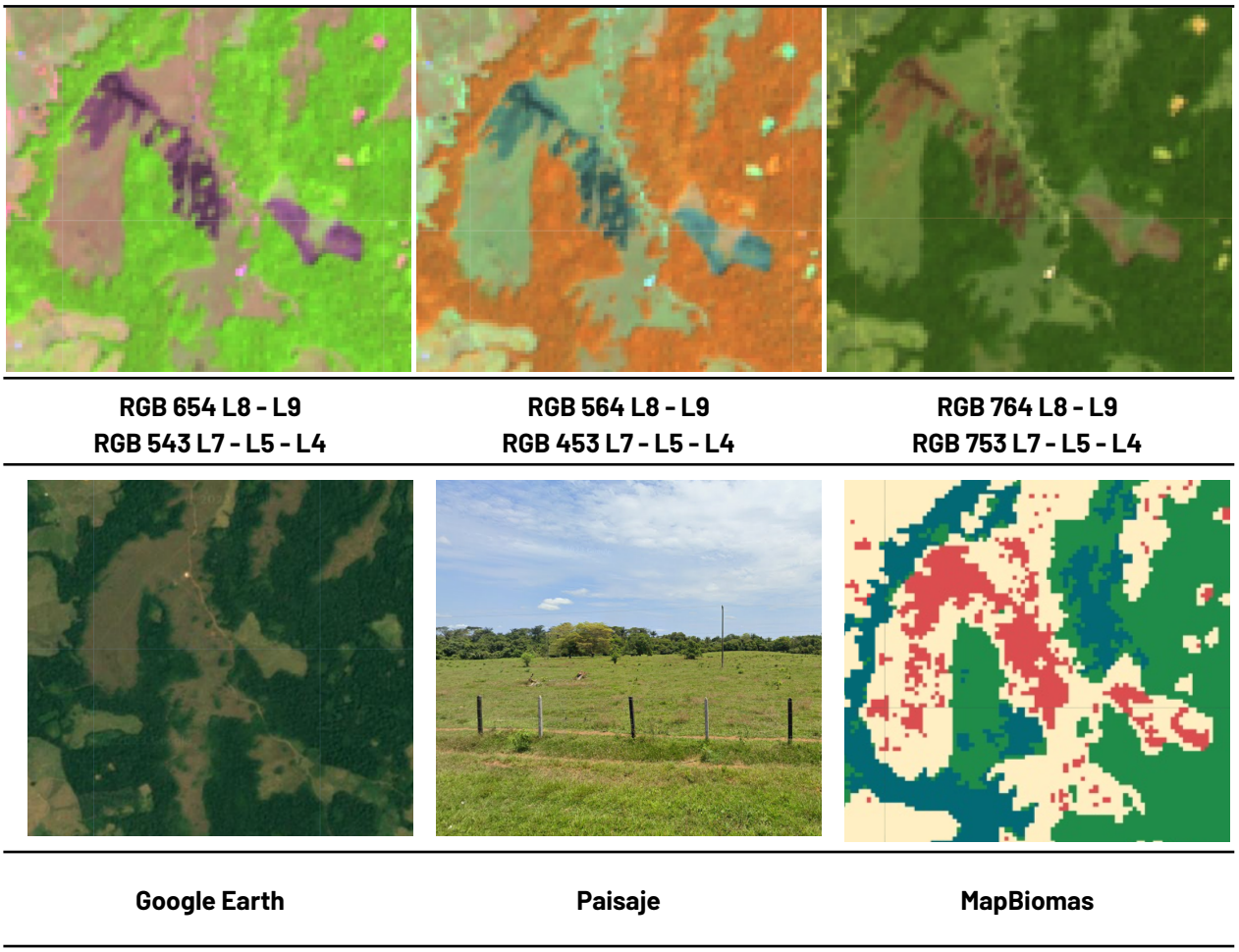
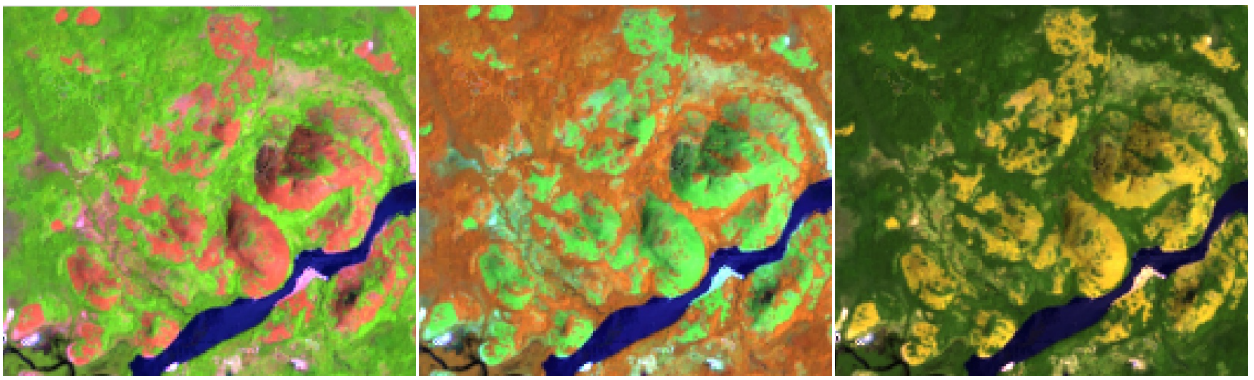


Figura 36 Respuesta Espectral Otra áreas sin vegetación - Amazonía.
Ubicación: San José del Guaviare - Guaviare, Año: 2022, Escala: 500m, Coordenadas: -72.19378 W, 2.57309 N.

Como se observa en la figura 36, la respuesta espectral de las otras áreas sin vegetación en la combinación RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 es de coloración morada, a tonalidades rosadas; en una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan de verde limón a tonalidades amarillentas y de verdes azulados. Muestra una textura muy fina homogénea y límites generalmente continuos y homogéneos. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono rojo.

Afloramiento rocoso (ID:29)

Corresponde a zonas constituidas por capas de rocas expuestas, donde los procesos de erosión y precipitaciones han ocasionado la exposición de la roca madre, con presencia baja o nula de la vegetación, generalmente ubicadas en laderas abruptas y de fuerte pendiente. En Amazonía su lugar representativo se encuentra en la estrella fluvial de Inírida.



RGB 654 L8 - L9 RGB 543 L7 - L5 - L4	RGB 564 L8 - L9 RGB 453 L7 - L5 - L4	RGB 764 L8 - L9 RGB 753 L7 - L5 - L4

Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 37 Respuesta Espectral Afloramiento rocoso - Amazonía
Ubicación: Puerto Inírida - Guainía, Año: 2021, Escala: 200m, Coordenadas: -67.975284 W, 3.472212 N.

Presenta una textura homogénea y su respuesta espectral de esta cobertura, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 varía entre tonalidades rosas. Por otro lado, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se visualiza en colores verdes. Finalmente, en combinación RGB 764 Landsat 8 y 9, y RGB 753 Landsat 7, 5 y 4 se presentan en tonalidades amarillas.

Minería (ID:30)

La minería se encuentra dispersa en medio del Bosque (ID.3) y se presentan como pequeñas áreas de suelos desnudos dedicados a la extracción de minerales. Estas áreas se encuentran, por ejemplo, en el municipio de Taraira (Vaupés), distribuidas alrededor del departamento de Guainía, entre otras. Igualmente, se puede identificar un gran clúster de áreas mineras en el departamento de Putumayo.

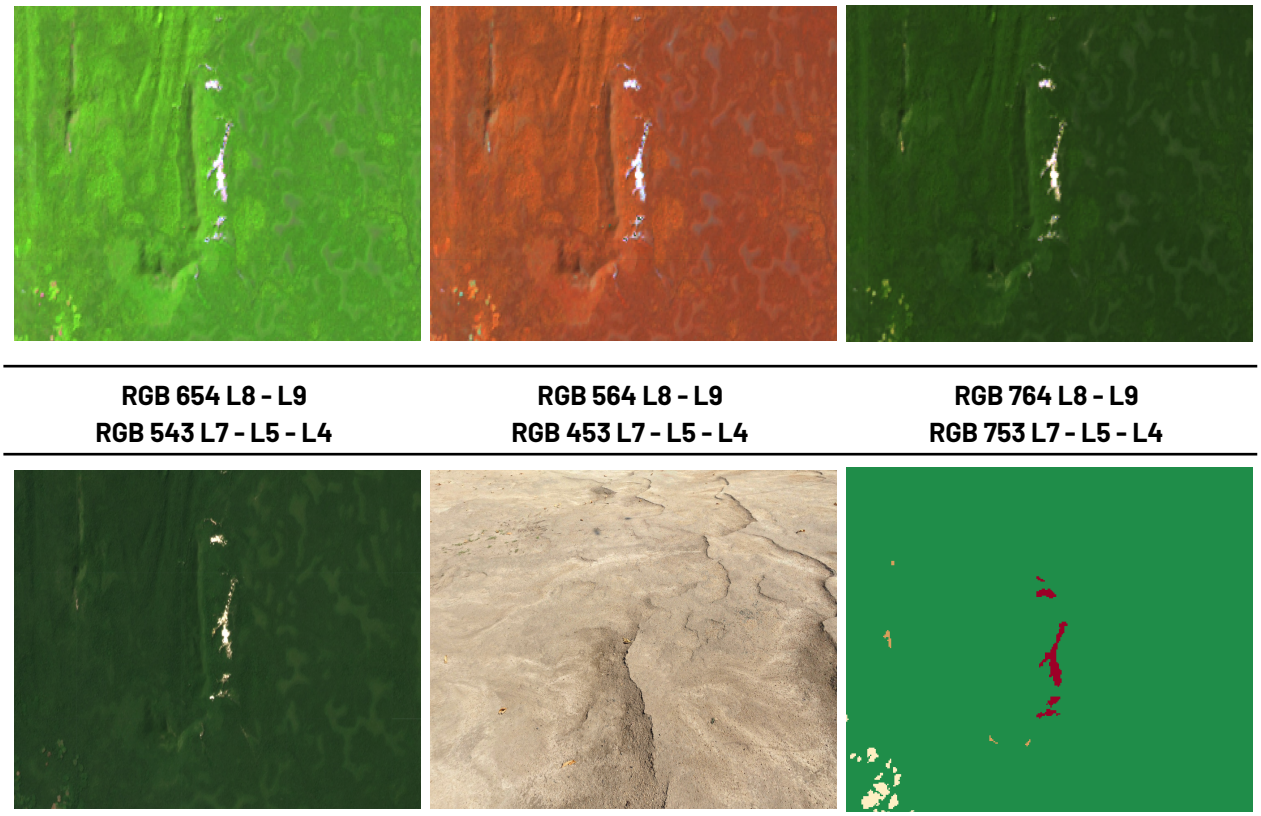


Figura 38 Respuesta Espectral Minería - Amazonía.
Ubicación: Pana Pana, Guainía, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas:-68.96314 W 1.90199 N

Como se observa en la figura 38, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 y en una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 432 Landsat 7, 5 y 4 se observa una respuesta espectral de bosque con parches de coloración Magenta a morados en la combinación de rojos y azules en la combinación de verdes, propios de los suelos desnudos, estas coberturas se diferencian de las demás debido a que generalmente se encuentra inmerso dentro del patrón de bosque y con cercanía a centros poblados generalmente pequeños, presentan una textura gruesa heterogénea.

Río, lago u océano (ID:33)

Son los cuerpos de agua permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina) y cuerpos de agua en movimiento.

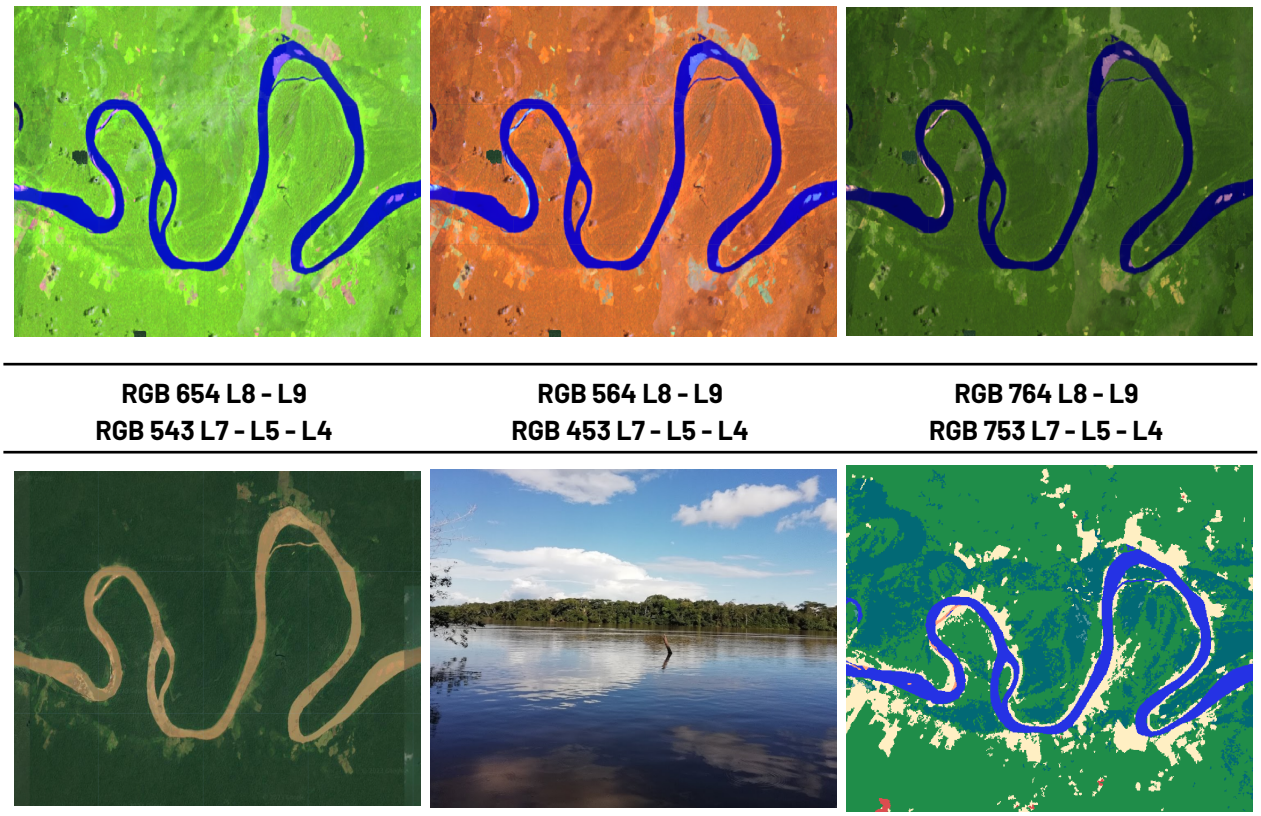


Figura 39 Respuesta Espectral de Río, lago u océano - Amazonía.
Ubicación: Río Caquetá, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -74.490056 W -0.138241 S

La respuesta espectral de los cuerpos de agua depende de la carga de partículas en suspensión, los ríos presentan color azul oscuro debido al contenido de sedimentos y materia orgánica en una combinación y azul rey cuando sus cargas de partículas en suspensión son menores para RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 9, y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, la coloración es la misma en las diferentes combinaciones de bandas usadas. Muestra una textura muy fina homogénea tal como se evidencia en la figura 39 con un patrón de drenaje que sigue los diferentes cursos hídricos en algunos casos de tipo dendrítico.

Palma aceitera (ID:35)

Comprende superficies de cultivos simétricos de palma de aceite, transitorios o permanentes, en los cuales los tamaños de parcelas son considerablemente grandes en comparación a los cultivos normales, generalmente se realizan en grandes extensiones y su aprovechamiento es en escala industrial. Como se evidencia en la **figura 40** este cultivo obedece a un claro patrón geométrico regular, distribuido por lotes el cual es intrincado con vías dentro de la misma formación que sirven de redes de acceso para su cuidado y aprovechamiento y su textura es fina y homogénea con un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios.

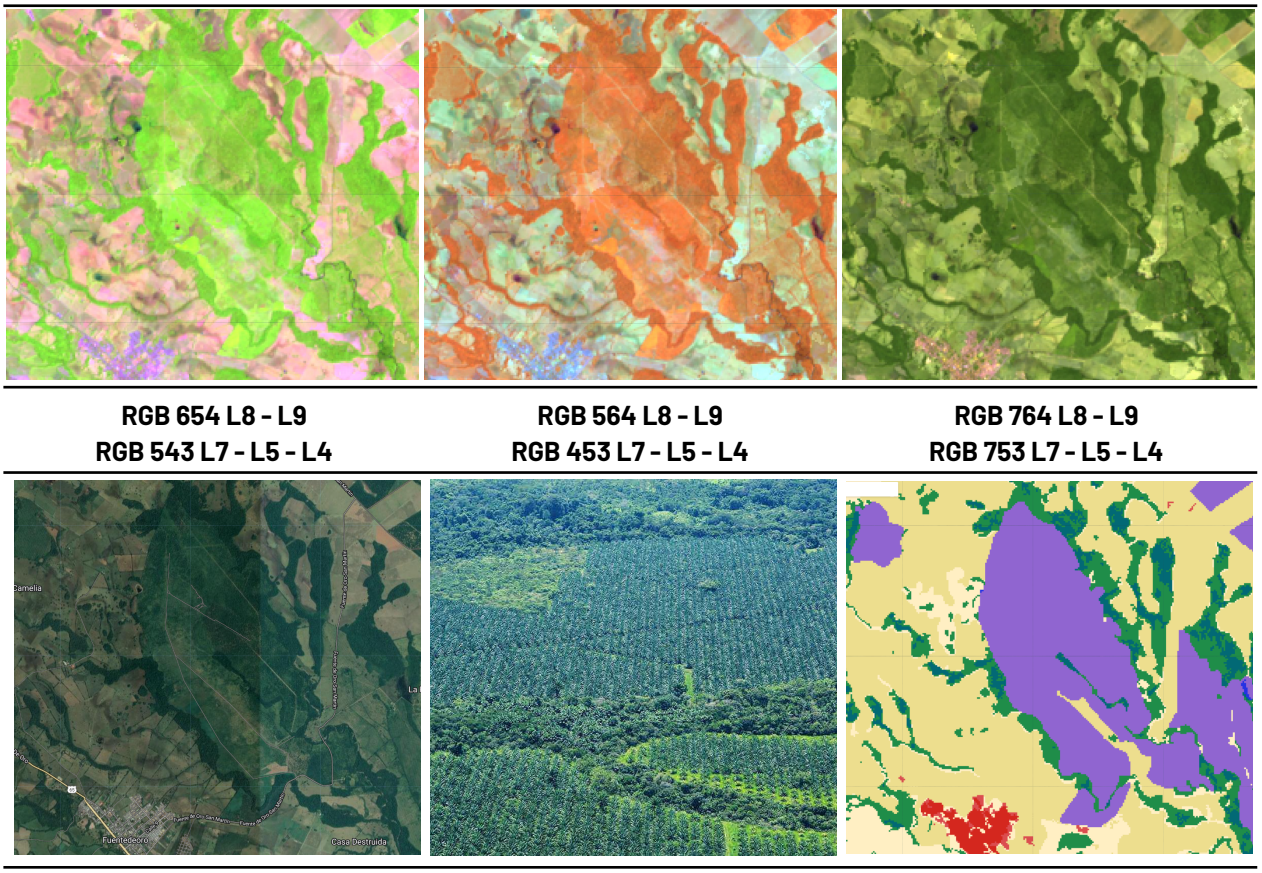


Figura 40 Respuesta Espectral Palma aceitera - Amazonía.
Ubicación: Fuentedeoro - Meta, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas: -72.9709, -0.1203

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 9, y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 y en una combinación RGB 563 Landsat 8 y 9 y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observa una respuesta espectral similar a la clase bosque, de coloración verdes y naranjas muy vivos a pálidos respectivamente dependiendo de su estadio fenológico; estas coberturas se diferencian entre sí, por los patrones simétricos en el mosaico, los grados de intervención de la zona aledaña y la regularidad de sus límites. Finalmente, en la clasificación 5 de MapBiomas esta se representa con tono morado.

2.6.3.4. Colecta de muestras

El proceso metodológico para la clasificación de las coberturas de la tierra comienza con la toma de muestras de entrenamiento, las cuales hacen referencia a los píxeles que se mantuvieron estables en la misma clase durante toda la serie temporal (de 1985 al 2022). Para ello, el algoritmo identificó y seleccionó los píxeles estables y sobre esta capa se sortearon puntos aleatorios balanceados según la extensión de cada clase. La cantidad de puntos asignados por clase fue definida por el intérprete y la ubicación de cada uno de ellos sirvieron de insumo para entrenar el clasificador Random Forest.

Opcionalmente, el intérprete podía excluir clases si consideraba que estas eran poco estables en el tiempo. Asimismo, se tenía la opción de incluir clases para el sorteo de puntos en píxeles estables o de

modificar manualmente las muestras para excluir o añadir ubicaciones según su estabilidad o no durante la serie. Esta evaluación era realizada a partir de la comparación de la respuesta espectral de un mismo píxel en todos los mosaicos de la serie que contarán con información para ese píxel. Esta toma de muestras complementarias fue implementada con las herramientas para la creación de geometrías en el Earth Engine de Google.

2.6.3.5. Random forest

Random forest es un método de clasificación no paramétrico fundamentado en los algoritmos de inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (Machine Learning) (Chen & Ishwaran, 2012), que incorpora un enfoque de aprendizaje supervisado (Merino & Chacón, 2017). Hace parte del paquete de clasificadores de Machine Learning disponibles en la plataforma de geomática Google Earth Engine.

El algoritmo se basa en la combinación de un conjunto de árboles de decisión construidos a partir de muestras de entrenamiento, el cual utiliza un subconjunto de variables aleatorias para dividir cada nodo y de esta forma asignar un valor a cada dato entrante (Cutler et al., 2012; Merino & Chacón, 2017), que en este caso corresponde a la asignación de una clase a cada pixel. Se ha demostrado que este método de combinación de múltiples clasificadores para la predicción de un resultado alcanza precisiones muy altas (Tumer & Ghosh, 1996), incluso frente a escenarios complejos, por lo que la implementación de Random forest genera mayor confiabilidad en el mapeo.

Para el funcionamiento del algoritmo es necesario definir el número de árboles de decisión, cuyo valor puede variar según las necesidades y las características propias de cada región de clasificación. En la elaboración de la quinta colección el rango de árboles empleados por región se encuentra entre 50 y 90, siendo 80 el valor más empleado en ambas etapas de clasificación como se observa en la **tabla 6**. Adicionalmente, se requiere de una lista de variables, obtenidas a partir de los mosaicos de mediana anuales; y de datos de entrenamiento, para lo cual se usaron los píxeles estables resultantes de la colección 5 en una ventana temporal de 1985 a 2021.

Tabla 6 Número de árboles de decisión empleados por regiones de clasificación.

Clasificación final	
Arboles de decisión empleados por región	**Número de regiones de clasificación**
50	18
60	1
65	1
70	7
80	20
90	1
Total	**48**

2.6.3.6. Temas transversales

Debido a la complejidad que representa la identificación e interpretación de algunos tipos de cobertura, se establecieron grupos de trabajo específicos enfocados en mapear dichas clases de manera transversal al mapa general estructurando metodologías específicas según fuera pertinente. Los temas transversales para la Colección 5 de coberturas de la Amazonía colombiana fueron; Bosque inundable (ID = 6), Formación Natural No Forestal Inundable (ID = 11), Infraestructura urbana (ID = 24), Minería (ID = 30), Pastos (ID= 15), Agricultura (ID =18), y Palma Aceitera (ID=35) cuya descripción y claves de interpretación se abordó en ítems anteriores relacionados con la leyenda, así mismo, los filtros mencionados en la metodología fueron ajustados acorde a la clase de interés en cada transversal. Al finalizar, la información generada se consolidó en el mapa final a través de reglas de integración.

2.6.4. Post-clasificación

Luego de haber tomado las muestras complementarias para entrenar el algoritmo de clasificación, la metodología permite hacer un edición automática de las inconsistencias que persisten como consecuencia de las sombras remanentes de nubes, falta de información por gaps en los mosaicos y píxeles dispersos y aislados sobre la imagen (conocido como efecto de sal y pimienta). De esta manera se aplicaron una serie de filtros que a continuación se describen y que permitieron tener una mejor representación de las clases mapeadas en la serie temporal, esto son:

1. *Filtro temporal.*
2. *Filtro espacial.*
3. *Gap fill.*
4. *Filtro de frecuencias.*

Los filtros se aplicaron en un orden diferente y de acuerdo a las necesidades y condiciones de cada región según el criterio de los intérpretes como se registra en la **tabla 7**. A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los filtros que se utilizaron.

2.6.4.1. Filtro Temporal

Este filtro consiste en el reemplazo de los píxeles denominados como ruido o efecto sal y pimienta, las cuales, son inconsistencias que se pueden presentar en la clasificación de las coberturas respecto a su cambio paulatino año a año, en este sentido, se utilizan 3 tipos de filtros, el filtro temporal de año intermedio, el filtro temporal del primer año y el filtro temporal del último año explicados a continuación.

2.6.4.1.1. Año intermedio

El filtro se ejecuta teniendo en cuenta el primer y último píxel de la serie temporal, cambiando la clasificación de los píxeles ubicados en los años intermedios a los clasificados en los extremos de la serie temporal (1986-2021). En la parte inferior de la **Figura 41**, se puede observar que para la regla de 3 años se tiene un pixel clasificado como bosque (en verde) en los años t1 y t3, y para t2 se presenta una

transición hacia la clase de mosaico de agricultura o pasto (en beige) lo cual es un comportamiento ecosistémico poco probable en las zonas valoradas, en este sentido, después de aplicar el filtro, éste estabiliza los cambios abruptos en la clasificación, cambiando el pixel intermedio a los clasificados por sus pares iniciales y finales. Del mismo modo, este se aplica para series temporales de 4 y 5 años, y de forma inversa como se explica en la parte superior de la Figura 41. Es importante aclarar que para los años de inicio y fin del periodo analizado en este caso 1985 y 2022, no se aplica la regla de año intermedio debido a que no existen años para comparar.

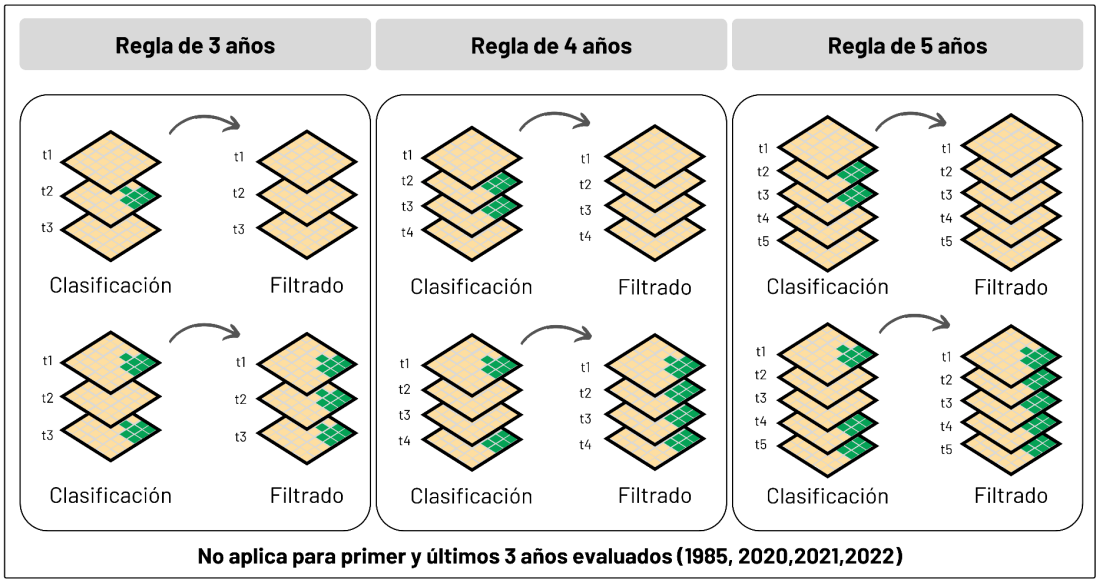


Figura 41 Filtro Temporal.

5.1.2 Primer año y último año

La regla de primer año corrige inconsistencias de la serie temporal debido a falta de información para el año de 1985. El ejemplo enseguida muestra una transición de áreas de bosque a mosaico de agricultura o pasto en el periodo de este año, fenómeno poco probable en las zonas evaluadas. La regla de último año corrige el pixel mal clasificado al final de la serie temporal (2022) por cambios abruptos como el mencionado anteriormente, en la Figura 42, se observa como el filtro actúa con el píxel clasificado al final de la serie temporal como bosque (en verde) y después de ejecutado el filtro, este es reclasificado a mosaico de agricultura o pasto homogeneizando la serie.

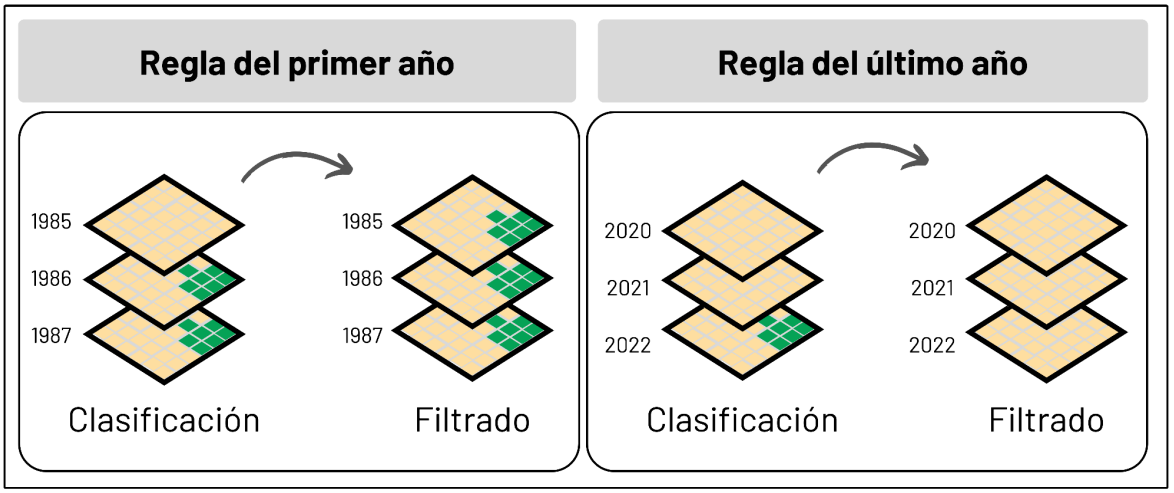


Figura 42 Filtro Temporal Regla de Primer y Último Año.

En el filtro se puede configurar y adicionar las clases que sean necesarias para corregir, por ende, se debe tener en cuenta que, si bien cualquier clase está susceptible a someterse a este filtro, el intérprete evalúa las clases a las que es conveniente la aplicación, ya que hay clases que sí pueden presentar cambios abruptos en periodos muy cortos, como lo es el cambio de bosque a mosaico de agricultura o pasto. Para concluir, el objetivo principal de este set de filtros es tener una serie temporal estable, sin saltos inconsistentes que puedan afectar los reportes estadísticos y la clasificación en sí misma, de igual manera, así como se pueden excluir clases en cualquiera de los tres filtros temporales también se pueden excluir años, esto ocurre principalmente en años intermedios, cuando una serie de años se encuentra estable, pero en otros periodos específicos no.

2.6.4.2. Filtro Espacial

El filtro espacial es una función ejecutada para el realce de imágenes, que mejora el brillo y contraste de estas mediante la corrección de píxeles aislados que arrojan una diferencia con grupos de píxeles vecinos (efecto sal y pimienta); esto evita el mapeo de errores como sombras o remanentes de otras coberturas, además de que permite reducir o intensificar detalles concretos del mosaico. Para la aplicación del filtro se toma como área mínima 0.5 hectáreas correspondientes en imagen a 5 píxeles; estos deben presentar una conexión entre sí para ser clasificados como un grupo de píxeles representativos, los cuales eliminan las diferencias locales o aisladas unificando las coberturas del mosaico. Para el ejemplo representado en la Figura 43, en la imagen de entrada se clasifican 3 píxeles aislados como río, lago u océano, estos al pasar por el filtro espacial y generar una diferencia de valor con los grupos de pixeles son sustituidos por la clase predominante que los rodea, originando que en la salida gráfica estos píxeles sean reclasificados como mosaico de agricultura o pasto.

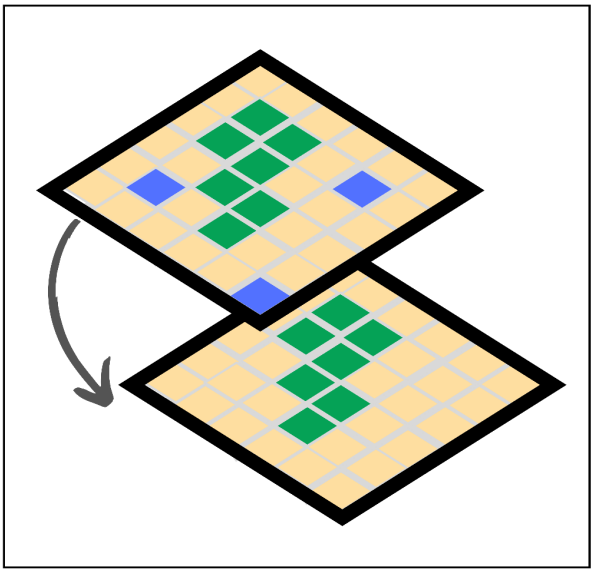


Figura 43 Filtro Espacial.

2.6.4.3. Gap Fill (Relleno de vacíos)

El objetivo del filtro de Gap fill es rellenar los espacios vacíos que tienen los mosaicos por falta de información en la ventana temporal definida. Este filtro surge de gran utilidad debido a la falta de imágenes de buena calidad para algunos años y/o en algunas regiones ya que, como se mencionó en el capítulo de mosaicos, se presentan casos en los que varios años consecutivos no tienen imágenes disponibles o presentan vacíos por exclusión de nubosidad en la imagen. Para ello, el algoritmo definido identifica las zonas donde no existe información en los mosaicos y con base en la serie temporal el algoritmo llena estos vacíos con datos del año anterior hasta que haya disponibilidad como se muestra en la **figura 44**.

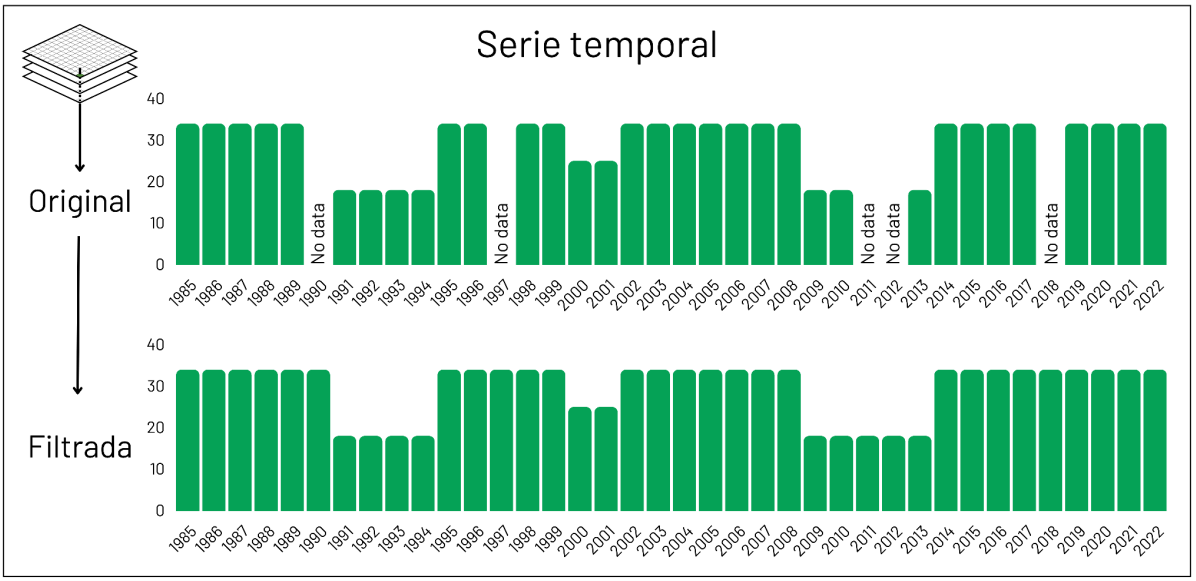


Figura 44 Filtro de Relleno de Vacíos (Gap Fill).

En la anterior figura se explica el proceso que se hace pixel a pixel para rellenar aquellos que no cuentan con datos. Para el caso expuesto no se encuentra información en 1990 por lo que se llena el dato con el del año inmediatamente anterior, es decir, 1991. En este orden de ideas, los datos de los años 1997, 2011, 2012 y 2018 se encuentran rellenados con la información de los años anteriores.

Cabe destacar que, aunque este filtro ayuda a estabilizar en cierta medida los vacíos de información tiene como consecuencia que no mapea los cambios que ocurrieron en los años donde se aplicó el filtro y se verán reflejados solo hasta el próximo año donde se tenga nuevamente información. De esta manera puede afectar el mapeo de los cambios de cobertura o de deforestación en aquellas zonas donde se haga el relleno de datos. Este efecto se presentó en mayor medida en el periodo 1992 a 1995 donde el archivo de datos landsat no tiene información como se observa en la **figura 10**.

2.6.4.4. Filtro de Frecuencias

Este filtro generaliza el valor de un píxel en función a la frecuencia del valor interpretado a lo largo de la serie temporal, excepto el primer y último año. La **figura 45** ejemplifica el resultado de la aplicación del filtro de frecuencias.

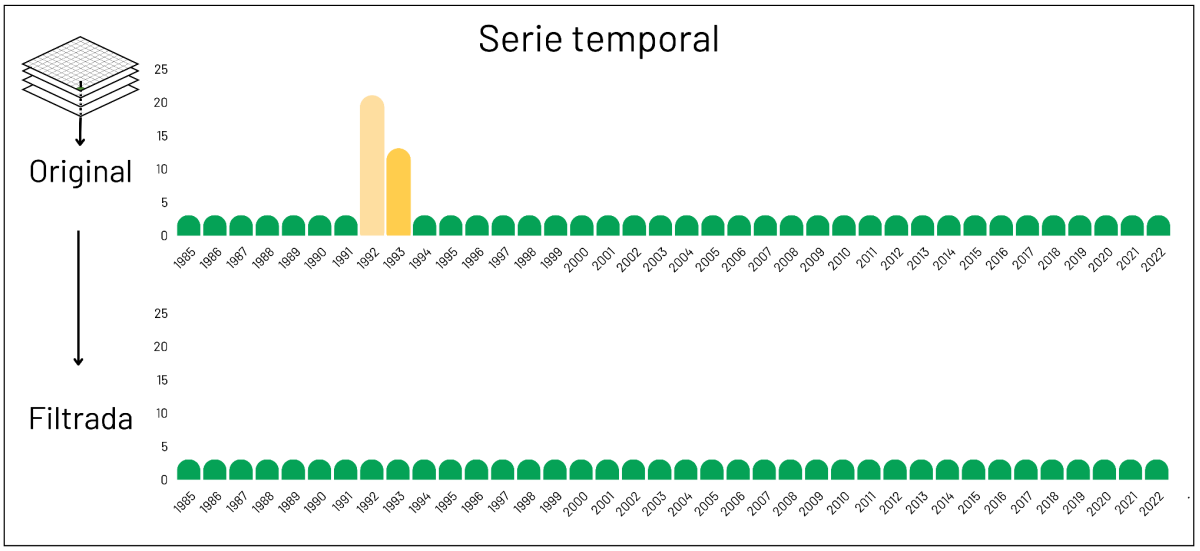


Figura 45 Filtro de Frecuencias

2.6.4.5. Orden de Aplicación de Filtros

Para cada una de las regiones de la Amazonía colombiana, se aplicaron una serie de filtros en un orden determinado para lograr llegar a la clasificación final el cual se puede observar en la **tabla 7**. Donde FT corresponde a filtro temporal, GP gap fill, FE filtro espacial y FF filtro de frecuencia.

Tabla 7. Aplicación jerárquica de filtros post clasificación

Bioma	Región	1	2	3	4	5	6	7	8
Andes	30101	GP	FT	FE					
	30102	FT	GP	FF	FE				
	30103	GP	FT	FE					
	30104	FT	GP	FT	FE				
	30105	GP	FT	FT	FE	FT	FT		
	30106	FE	FT	GP	FF	FT	FE		
	30107	FT	FE	GP	FF	FE	FT		
	30108	FT	GP	FE	FF				
Amazonía	30201	FE	FE	FF	GP	FT	FE		
	30202	FT	GP	FT	FF	FE			
	30203	FE	FF	FF	GP	FE	FE	FF	
	30204	FT	FT	GP	FT	FF	FF	FE	
	30205	FF	GP	FE					
	30206	FT	GP	FF	FF	FF	FE	FE	
	30207	FT	GP	FE	FF	FE	FT		
	30208	FE	FF	FE	GP	FT	FF	FE	
	30209	GP	FT	FT	FF	FE			
	30210	GP	FT	FF	FE				
	30211	GP	FT	FE	FF				
	30212	FE	FT	GP	FT	FF	FF	FE	
	30213	FE	FT	FT	GP	FE	FE		
	30214	FT	GP	FT	FF	FE			
	30215	FT	GP	FT	FE				
	30216	FT	GP	FT	FE				
	30217	FE	FT	GP	FF	FF	FF	FE	
	30218	FT	GP	FT	FF	FE			
	30219	FT	GP	FT	FE	FT	FE		
	30220	FT	GP	FT	FE	FF	FE		
	30221	FT	GP	FT	FF	FE			
	30222	FT	GP	FT	FE	FF	FE		
	30223	FE	GP	FF					
	30224	GP	FT	FE					
	30225	FE	FE	FT	FT	FE	FE	GP	FE
	30226	GP	FT	FF	FE	FT			
	30227	GP	FT	FF	FE				
	30228	FT	GP	FT	FE	FF	FE	FT	
	30229	GP	FT	FE	FF	FE			
	30230	FE	FF	FT	FT	FT	GP	FE	
	30231	FT	GP	FT	FF	FF	FE		

	30232	FT	GP	FF	FE		
	30233	FT	GP	FE			
	30234	FE	FT	GP	FF	FT	FE
	30235	FT	GP	FF	FE	FT	FT
Amazonía	30236	GP	FT	FF	FE		
	30237	GP	FT	FE			
	30238		FT	GP	FE	FF	FT	FE
	30239	GP	FT	FF	FF	FF	FE	
	30240	FT	GP	FT	FF	FF	FE	

2.6.4.6. Integración

A partir de la clasificación obtenida por región anualmente desde la metodología general y las clasificaciones de capas binarias transversales, se integró la información resultando la colección de 38 mapas anuales. Para ello se definieron una serie de reglas y jerarquías entre clases y consolidarlas en un set temporal de mapas de coberturas para la Amazonía colombiana como se registra en la **tabla 8**.

Tabla 8. Jerarquías para integración.

				Prevalencia ID Colombia	
Colección 5	**ID**	**Capa**	**General**	**Regiones: 30203, 30210, 30218, 30225, 30230,30239**	**Regiones: 30217, 30219,30220, 30231**
Minería	30	Transversal	1	1	1
Infraestructura urbana	24	Transversal	2	2	2
Silvicultura	9	General	3	3	3
Playa, duna o banco de arena	23	General	4	4	4
Cuerpo de agua	33	General	5	5	5
Palma aceitera	35	General	6	6	6
Agricultura	18	Transversal	7	-	-
Pasto	15	Transversal	8	-	-
Mosaico de agricultura y/o pastos	21	General	9	7	7

Afloramiento rocoso	29	General	10	-	-
Otra área sin vegetación	25	General	11	9	9
FNNF inundable	11	Transversal	12	8	8
Formación natural no forestal	13	General	13	10	11
Formación campestre o herbazal	12	General	14	-	10
Bosque inundable	6	Transversal	15	11	12
Formación forestal	3	General	16	12	13

*FNNF hace referencia a formación natural no forestal

La columna ID representa el identificador de cada clase dentro del mapa; la columna de prevalencia es el orden o jerarquía de cada una de las clases en el mapa, es decir, para el caso de la Amazonia colombiana se definió que la clase 30 de minería debe estar por encima de las demás en el proceso de integración para evitar sobreposición con otras clases previniendo así la pérdida de información. De igual manera se crearon dos excepciones en las cuales el orden de priorización de la clase (25) otra área sin vegetación está por debajo de la clase (11) FNNF Inundable; en la primera excepción la clase (12) Formación campestre o herbazal no se integra debido a la ausencia de esta en la región de clasificación, y en la segunda excepción, la clase (12) queda priorizada sobre las clases: (13) Formación natural no forestal, (6) Bosque inundable y (3) Formación forestal. La columna capa hace referencia si la clase proviene del mapa general o del mapa transversal. De igual manera se presentan excepciones para algunas regiones que requiere un manejo especial a la hora de integrar las clases. Es de resaltar que en el desarrollo del proyecto se usaron metodologías transversales para mapear los temas de infraestructura urbana, agricultura, pasto, minería, bosque inundable, y formación natural no forestal inundable. (Ver detalles en los ATBD de cada tema) . Finalmente, en la **figura 46** se observa el multitemporal de la integración final con las clases generales y transversales de la Colección 5 MapBiomas de la Amazonía colombiana.

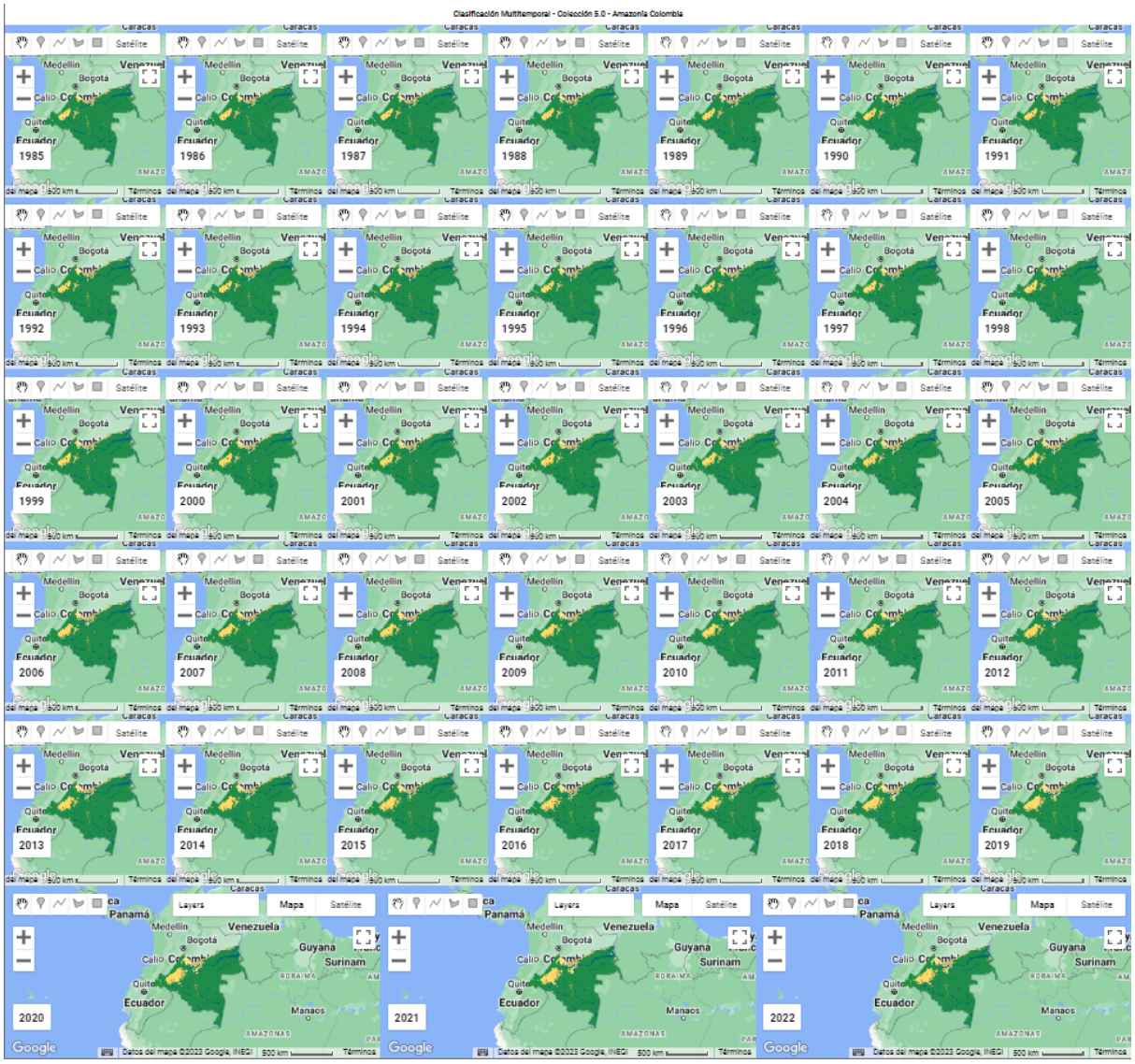


Figura 46 Integración de la clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 5.0.

3. Referencias

Bicheron, P., Leroy, M., Brockmann, C., Krämer, U., Miras, B., Huc, M., Niño, F., Defourny, P., Vancutsem, C., Arino, O., Ranera, F., Petit, D., Amberg, V., Berthelot, B., & Gross, D. (2006). Globcover: A 300 m global Land Cover product for 2005 using ENVISAT MERIS time series. *Proceeding of the Second International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, 538-542.

Castaño-Uribe, C. (2019). *Chiribiquete: La maloka cósmica de los hombres jaguar*. Mesa Estándar,. https://chiribiquete.parquesnacionales.gov.co/wp-content/uploads/2020/12/prueba-del-libro.pdf

Castellanos, H. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia. Escala 1:100.000*.

Chen, X., & Ishwaran, H. (2012). Random forests for genomic data analysis. *Genomics*, *99*(6), 323-329. https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2012.04.003

Cutler, A., Cutler, D. R., & Stevens, J. R. (2012). Random forest. *Springer Boston MA*, 157-175.

DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda—CNPV - 2018 | Datos Abiertos Colombia*. https://www.datos.gov.co/widgets/qzc6-q9qw

E.G. Leija, S.I. Valenzuela Ceballos, M. Valencia Castro, G. Jiménez González, G. Castañeda Gaytán, H. Reyes Hernández, & M.E. Mendoza. (2020). *Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas*. *29*(1).

Gaia Amazonas. (2021). *Algorithm Theoretical Basis Document—ATBD. Apéndice—Colombia. Colección 3.0* (Memória Técnica 3; p. 43). Gaia Amazonas. https://s3.amazonaws.com/amazonia.mapbiomas.org/atbd/atbd%20general/F_Apendice_Colombia_-_Colecci%C3%B3n_3.0.pdf

García Ruiz de León, M. (2018). *Análisis de Sensibilidad Mediante Random Forest* [Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/53368/1/TFG_MARTA_GARCIA_RUIZ_DE_LEON.pdf

Heinrich, W., & Siegmar, B. (1986). *Ecological Systems of the Geobiosphere* (1.ª ed.). https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-06812-0

Hernandez, J., & Sanchez, H. (1992). Biomas Terrestres de Colombia. En G. Halffter (Ed.), *La Diversidad Biológica de Iberoamérica* (Vol. 1). CYTED-D. https://www.rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/diversidad_biologica_iberoamerica.pdf

Holdridge, L. R. (1964). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. https://books.google.com.co/books?id=BlFgAAAAMAAJ

Ibarra, A. (2013). *Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de costa rica.* http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10538.pdf

IDEAM. (2010). *LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGIA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA. ESCALA 1:100.000*. https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000

IDEAM. (2023). *Boletín N. 33. Cuarto trimestre (octubre—Diciembre) 2022. Detección temprana de deforestación (DTD)* (33).

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia* (p. 47). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Mapa de Bosque no Bosque* [Mapa Raster].

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *MAPA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA, ESCALA 1:100.000, PERIODO 2018. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA. MEMORIA TÉCNICA Y RESULTADOS* [Memória Técnica]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam. https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.36118762695527,-2.2431271708102756,-64.53013293945975,12.036885836214465,4686&b=igac&u=0&t=43&servicio=881

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Humboldt, I. de I. de R. B. A. von H., INVEMAR, I. de I. M. y C. J. B. V. de A., & IGAC, I. G. A. C. (2017). *Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. Escala 1:100.000*. https://www.andi.com.co/Uploads/MapaEcosistemas2017.pdf

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque – Año 2021*. https://www.andi.com.co/Uploads/583212846-Sistema-de-Monitoreo-de-Bosques-y-Carbono.pdf

IGAC. (1999). *Paisajes fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Investigación y Divulgación Geográfica.

IGAC, I. G. A. C.-. (2021). *Líneas Limítrofes de Colombia* [Cartografía Político Administrativa]. GDB. https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.36118762695527,-2.2431271708102756,-64.53013293945975,12.036885836214465,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=200

López, R., & Rodríguez, N. (2011). *Bosques Inundables de la Amazonía: Ambientes Acuáticos Estratégicos* (pp. 147-157).

https://www.researchgate.net/publication/326890097_BOSQUES_INUNDABLES_DE_LA_AMAZONIA_AMBIENTES_ACUATICOS_ESTRATEGICOS

Merino, R. F. M., & Chacón, C. I. Ñ. (2017). Bosques aleatorios como extensión de los árboles de clasificación con los programas R y Python. *Interfases*, *10*, 165-189.

Murcia García, U. G., Mazorra Valderrama, A., Salazar Cardona, C. A., López Castro, M. O., Arcila Niño, O., Alonso, J. C., Agudelo Cordoba, E., Nuñez Avellaneda, M., Escobar Lizarazo, M. D., Quintero Barrera, L., & Zubieta Vega, M. (2007). *Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana 2006* (p. 31). García, U. G. M., Vanegas, G. I. C., Alonso, J. C., Cardona, C. AInstituto Amazónico de Investigaciones Científicas" SINCHI". https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/balanceanual.pdf

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2021). *METODOLOGÍA MONITOREO DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LAS ÁREAS DE PARQUES NACIONALES NATURALES*. https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2021/08/amspnn_mt_01_-monitoreo-de-coberturas-de-la-tierra-en-ap-de-pnn_v_5-ajustad27082021.pdf

Patrimonio natural, F. para la biodiversidad y áreas protegidas. (2013). *AMAZONÍA POSIBLE Y SOSTENIBLE*.

Pero, E. (2015). Cambios en la cobertura vegetal y mapeo de un área protegida del NO argentino. *Lilloa*, *52(1)*, 70-81.

RAISG. (2020). Amazonía Bajo Presión 2020. *RAISG*. https://dev.amazoniasocioambiental.org/es/publicacion/amazonia-bajo-presion-2020/

Rincón, E., Murcia, U., Huertas, C., Rodríguez, J., & Castellanos, O. (2009). *Fichas técnicas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana* (U. Murcia, Ed.). https://sinchi.org.co/fichas-tecnicas-de-los-patrones-de-las-coberturas-de-la-tierra-de

-la-amazonia-colombiana

Rojas Suárez, A., & Guio Rodríguez, C. A. (2019). *Amazonia colombiana. Dinámicas territoriales | Heinrich Böll Stiftung | Bogotá office—Colombia*. Heinrich-Böll-Stiftung. https://co.boell.org/es/2020/01/24/amazonia-colombiana-dinamicas-territoriales

Ruiz, L. (1993). *Amazonía: Escenarios y conflictos* (1.ª ed.). CEDIME.

Tumer, K., & Ghosh, J. (1996). Analysis of decision boundaries in linearly combined neural classifiers. *Pattern Recognition*, *29*(2), 341-348. https://doi.org/10.1016/0031-3203(95)00085-2

Walter, H. (1977). *Zonas de vegetación y clima: Breve exposición desde el punto de vista causal y global*. Omega. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=79215

World Resources Institute. (2002). *Global Forest Watch*.