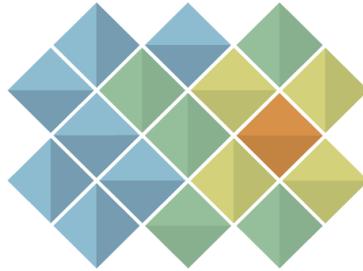


RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA



MAPBIOMAS

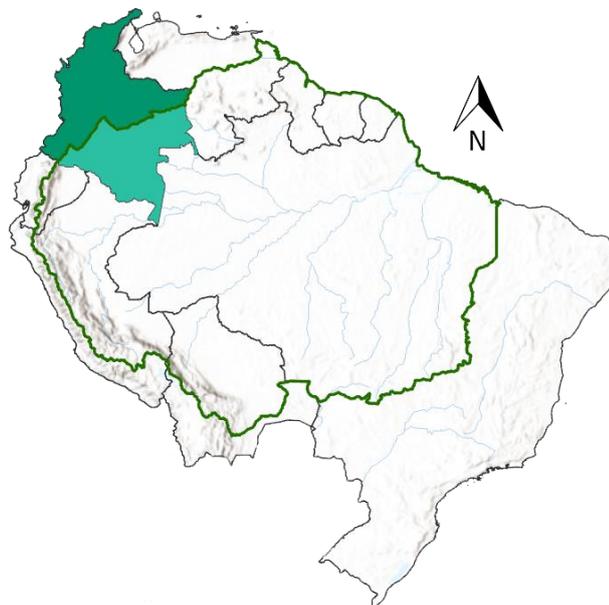
[AMAZONIA]

Apéndice - Colombia

Algorithm Theoretical Basis Document - ATBD

Colección 4.0

Versión 1.0



Noviembre de 2022

Equipo de especialistas

Andrés Llanos
Karen Andrea Huertas
John Aguilar
Andrea Díaz

Equipo de Asistentes de interpretación

Vannessa Bolívar	Eliana Mora
Vanessa Botero	Cristhian Mora
Angie Bustos	Miguel Restrepo
Carolina Hormizda	Janner Simbaqueba
Andrés Medina	Valentina Vera

Equipo pasantes

Axel Arbeláez
Daniel Dueñas
Laura Urrea
Laura Guarnizo

Coordinación del proyecto MapBiomias 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>

Como citar:

Fundación Gaia Amazonas (2022). Documento de Bases Teóricas de Algoritmo (ATDB) RAISG-MapBiomias Amazonía Colección 4, Apéndice Colombia – Colección 4 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.....	10
2.4 Biogeografía Amazonía.....	11
2.5. Otras iniciativas de mapeo.....	13
2.6. Metodología MapBiomias Amazonía Colombiana	14
2.6.1. Evolución de colecciones	14
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	23
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	62
2.6.3.5 Random forest	62
2.6.3.6. Temas transversales.....	63
2.6.4. Post-clasificación.....	63
2.6.4.1. Filtro Temporal.....	64
2.6.4.1.1. Año intermedio.....	64
2.6.4.1.2. Primer año y último año	65
2.6.4.2. Filtro Espacial.....	65
2.6.4.3. Gap Fill (Relleno de vacíos).....	66
2.6.4.4. Filtro de Frecuencias.....	67
2.6.4.5. Orden de Aplicación de Filtros	68
2.6.4.5. Integración	70
3. Referencias	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Superficie dentro del límite RAISG.	8
Tabla 2 Evolución colecciones MapBiomias 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.	63
Tabla 7 Implementación del filtro de frecuencias.....	67
Tabla 8 Aplicación jerárquica de filtros post clasificación	69
Tabla 9 Jerarquías para integración.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización y biomas presentes en la Amazonía colombiana.....	7
Figura 2 Biogeografía de la Amazonía colombiana. Gran Biomas.	9
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 - 2021.	21
Figura 11 Flujo de clasificación MapBiomias Amazonía Colección 4.0.	23
Figura 12 Regiones de clasificación Amazonía colombiana.	24
Figura 13 Regiones de comunidades indígenas en la Amazonía colombiana.....	25
Figura 14 Respuesta Espectral Formación Forestal Andes.	35
Figura 15 Respuesta Espectral Otro Tipo de Formación Natural no Forestal Andes.	37
Figura 16 Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto Andes.	38
Figura 17 Respuesta Espectral Otras Áreas sin Vegetación Andes.	39
Figura 18 Respuesta Espectral Río, Lago u Océano Andes.....	40
Figura 19 Respuesta Espectral Infraestructura Urbana Andes.	41
Figura 20 Respuesta Espectral No Observado Andes.....	42
Figura 21 Respuesta Espectral Minería Andes.	43
Figura 22 Respuesta Espectral Clase pastos Andes.....	44
Figura 23 Respuesta Espectral Clase Agricultura Andes.	45
Figura 24 Respuesta Espectral de la Formación Forestal Amazonía.	47
Figura 25 Respuesta Espectral Bosque inundable Amazonía.	48
Figura 26 Respuesta Espectral Formación Natural No Forestal Inundable Amazonía.	49
Figura 27 Respuesta Espectral Formación Campestre naturales Amazonía.	50

Figura 28 Respuesta Espectral Otro tipo de Formación Natural no Forestal Amazonía.	52
Figura 29 Respuesta Espectral Pastos Amazonía.....	53
Figura 30 Respuesta Espectral Agricultura Amazonía.....	54
Figura 31 Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto Amazonía.....	56
Figura 32 Respuesta Espectral Otras Áreas sin Vegetación Amazonía.....	57
Figura 33 Respuesta Espectral de Río, Lago u Océano Amazonía.....	58
Figura 34 Respuesta Espectral de Infraestructura Urbana Amazonía.	59
Figura 35 Respuesta Espectral Palma aceitera Amazonía.....	60
Figura 36 Respuesta Espectral Minería Amazonía.	61
Figura 37 Filtro Temporal.	64
Figura 38 Filtro Temporal Regla de Primer y Último Año.....	65
Figura 39 Filtro Espacial.	66
Figura 40 Filtro de Relleno de Vacíos (Gap Fill).	66
Figura 41 Filtro de Frecuencias.....	67
Figura 42 Integración de la clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 4.0.	72

1. Introducción

MapBiomias Amazonía es un proyecto de mapeo anual de cobertura y uso del suelo del bioma amazónico, creado en el año 2017 a partir de la asociación de la iniciativa MapBiomias Brasil con la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG). Este proyecto surge a raíz de la búsqueda de alternativas para la automatización de procesos y la generación de información más detallada para el desarrollo e implementación de una metodología rápida, confiable y de bajo costo para la generación de mapas anuales de cobertura y uso del suelo; contribuyendo de esta forma al entendimiento de las dinámicas de transformación de la Amazonía para la toma de decisiones integrales en pro de la diversidad étnica y biológica.

En la metodología MapBiomias Amazonía se emplean imágenes ópticas del satélite Landsat procesadas en la nube y clasificadas automáticamente por comandos desarrollados y operados desde la plataforma Google Earth Engine. El proceso de clasificación se lleva a cabo de forma independiente para el mapa general, donde se abordan únicamente las clases principales de manera generalizada, y para cada uno de los temas transversales, correspondientes a clases con mayor grado de detalle que presentan limitaciones en su diferenciación. Actualmente, se han elaborado 4 colecciones de MapBiomias 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 y de datos de cobertura más precisos que indican que entre 1985 y 2021 la Amazonía colombiana tuvo una pérdida neta de 2,41 M de ha de vegetación natural. Para la colección 4 se incorporó Landsat 4 junto con las clases nuevas de minería, pastos, agricultura y cultivos de palma; para un periodo de tiempo comprendido entre 1985 a 2021.

Como representante de RAISG por Colombia, la Fundación Gaia Amazonas, quien ha trabajado desde 1990 con comunidades y organizaciones indígenas para el ejercicio de sus derechos y la conservación del bosque amazónico; es la organización encargada de realizar el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo de la Amazonía colombiana. Como parte de la generación de conocimiento que propone el trabajo con la red, la fundación presenta este documento como síntesis para Colombia del trabajo de interpretación de coberturas de la tierra para la generación de la colección 4 de MapBiomias Amazonía.

El documento está dividido principalmente en cuatro componentes, correspondientes a las fases que conforman la metodología de clasificación MapBiomias basada en la interpretación de imágenes satelitales, las cuales son:

1. Generación de mosaicos: Esta fase comprende la composición de mosaicos de mediana a partir de imágenes del satélite Landsat (4, 5, 7, y 8) y de la parametrización de variables de nubosidad, sombras y temporalidad, según la región de mosaico.
2. Clasificación: Se realiza por regiones de clasificación mediante Random forest, un método de clasificación de aprendizaje automático, cuyo algoritmo es entrenado mediante muestras de entrenamiento tomadas de píxeles estables, para la asignación precisa de una clase de uso o cobertura a cada píxel.
3. Pos - clasificación: Consiste en la aplicación de una serie de filtros espaciales y temporales de acuerdo con los resultados preliminares y a los requerimientos propios de cada región,

según el criterio del intérprete y con el objeto de eliminar ruido y errores sistemáticos generados en el proceso de clasificación.

4. Integración: Corresponde a la fase final de la metodología, donde se unifican los resultados obtenidos en un solo mapa por cada año de análisis, conforme a las reglas y a los niveles de jerarquía establecidos.

A continuación, se describe un contexto de la región amazónica y de cada uno de los componentes metodológicos de forma detallada para mejor entendimiento del procedimiento y las consideraciones diferenciales para Colombia.

2. Características generales del país

2.1. Breve contexto de la Amazonía colombiana

La Amazonía es un territorio ampliamente reconocido por albergar una gran diversidad ecológica y cultural, por su extensa red hidrográfica que provee a los ríos Amazonas y Orinoco, y por los importantes servicios ecosistémicos que ofrece, entre ellos la regulación climática y captura de CO₂ pues posee el bosque tropical continuo más extenso del planeta. De acuerdo con la delimitación establecida por la RAISG (2020) el bioma amazónico abarca 8.470.209 km² y se extiende en nueve países, entre los cuales Colombia cuenta con 50'618.100 hectáreas (6%), superficie equivalente al 44,3% del territorio nacional.

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, aportando una variedad cultural y lingüística de enorme riqueza. 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	2,63	2,63	5,22%
Amazonía	48,1104166	47,72003189	47,73735118	94,78%
Total	50,76	50,35	50,37	100%

Nota: Representa el 44.3% de la superficie del país y el 6% del límite RAISG (SRC_FGA sinusoidal). 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 los 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, encontramos 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, catingas 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).

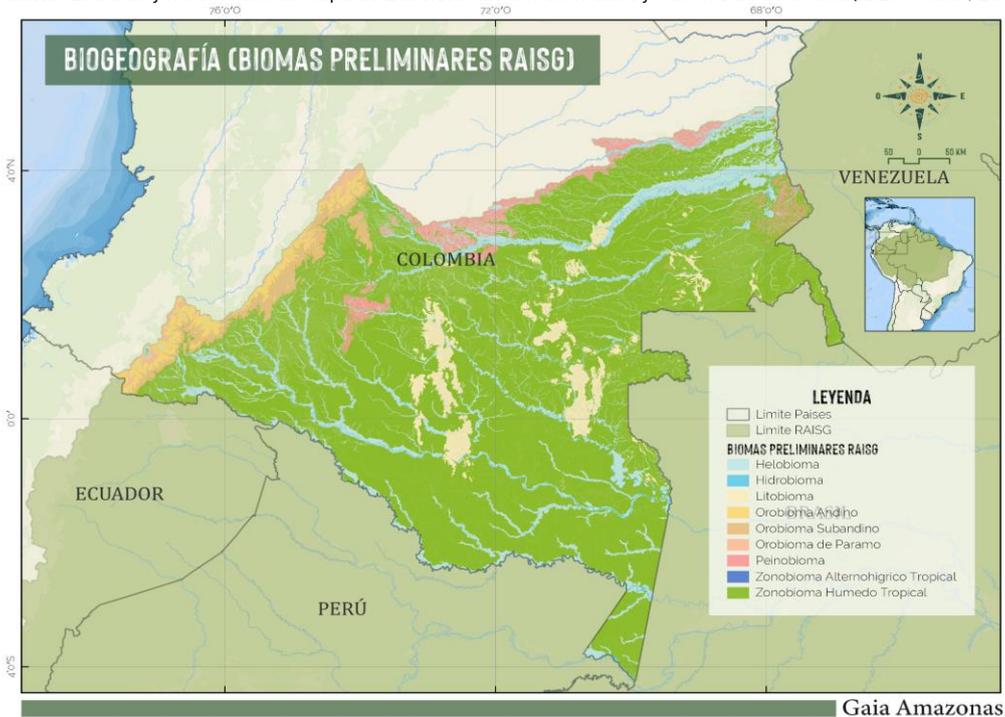


Figura 3

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 **Figura 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 sobre el flanco oriental de la cordillera de oriental y una parte de la cordillera central sobre el flanco oriental compartida con Ecuador como se observa en la **Figura 3**, se define por cambios altitudinales propias 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:

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 ácidos, 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; Hernández & Sánchez, 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). Está compuesto por tres suborobiomas denominados subpáramo, páramo y superpáramo.
 - **El subpáramo:** Se puede considerar como el ecotono o faja transicional entre la selva andina y el páramo, sin embargo, su delimitación no es clara por la alta intervención humana. Equivale a una higrofilia o subhigrofitia isomicrotémica, al matorral (denso o claro) de hojas siempre verdes micrófilas y se sobrepone a los conceptos de bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano y bosque pluvial montano y sus transiciones con el páramo, del sistema de Holdridge (1967) (Hernández & Sánchez, 1992).
 - **El páramo:** Se puede hallar hasta los 4200 o 4500 m.s.n.m., esta formación es reconocida por su predominio de vegetación gramínea (pajas o espartillos del género *Calamagrostis* y de otros géneros) y a la alta frecuencia de los frailejones (*Espeletia* spp. y *Espeletiopsis* spp.) (Hernández & Sánchez, 1992); corresponde a la psycro-eolofitia isomicrotémica de Cuatrecasas (Cuatrecasas, 1943, 1958) y al páramo o páramo pluvial de Holdridge (Holdridge, 1964).
 - **El superpáramo:** Pertenece a la franja de cambio entre el páramo y la formación de nieves perpetuas, se puede encontrar por encima de los 4200-4500 msnm, con una

cobertura vegetal muy baja, la presencia de frailejones es escasa a nula, Holdridge la cataloga como la tundra pluvial alpina (Hernández & Sánchez, 1992).

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 isomegatérmicos 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. **Pedobioma del Zonobioma Húmedo tropical:** Estos corresponden a zonas específicas en las cuales las condiciones edafológicas y de humedad son determinantes para el tipo de vegetación y fauna presente, en el territorio nacional ocupan una extensión de 31.256.588,4 ha, lo cual corresponde al 27,3% de la superficie total (IDEAM et al., 2017).
3. **Orobioma de La Macarena:** El conjunto de las zonas bajas y la llanura ondulada del área de la Macarena situado en el sector de Ariari, Gûéjar, Río Guayabero, Río Duda y que culmina en la cordillera de los Picachos es un bioma de típica selva amazónica; la cual se representa por fragmentos de sábanas que crecen en suelos de profundidad mínima y cuya unidad geomorfológica es montaña estructural erosional, en donde el 27% se localiza sobre

montaña fluviogravitacional y el 10% sobre lomeríos estructurales erosionales. Predominan coberturas de bosques naturales (72%), arbustales (19%) y herbazales (5%).

- 4. Helobiomos de la Amazonía:** 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 helobiomos 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. Peinobiomos de la Amazonía:** 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 peinobiomos 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. Litobiomos de la Amazonía:** Contempla lugares de afloramientos rocosos en la Amazonía y Orinoquia, 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 litobiomos 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, Yari 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 MapBiomás 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 2021, 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. El primer proyecto fue utilizado para la verificación y confirmación de coberturas de la tierra para la Amazonía colombiana mientras que el segundo da un 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) la cual se concentra en los departamentos de Guaviare, Meta y Caquetá donde se encuentran los 5 municipios con mayor deforestación para el 2021: Cartagena del Chairá, San Vicente del Caguán, La Macarena, San José del Guaviare y Mapiripán.

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 MapBiomás Amazonía es implementado por organizaciones no gubernamentales de los países amazónicos los cuales se encargan de mapear el área 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 2021 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 temática.

Respecto al alcance temático, esta cuarta colección presenta un mejoramiento del mapeo de centros poblados, cuerpos de agua, bosques inundables y el cambio del uso del suelo. Igualmente, el mapeo de la cobertura de esta colección contó con un mejoramiento espacial en las zonas donde se ubican los Resguardos Indígenas (RI), las áreas protegidas y los Parques Nacionales Naturales (PNN) ubicados en la Amazonía colombiana, principalmente los PNN Tinigua y Serranía de la Macarena, y los RI Nukak y Llanos del Yari- Yaguará II, para así proporcionar un recurso que apoye a las comunidades indígenas en relación con la gestión territorial y ambiental de sus territorios.

En este orden de ideas, dado el alcance de la colección 4, también se 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.

Estas también fueron especialmente utilizadas a la hora de clasificar la minería y otras clases dinámicas como los pastos y agricultura para así verificar el tipo de clase o identificar la aparición de nuevas zonas mineras o agrícolas en la Amazonía Colombiana. Igualmente, 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 MapBiomias Amazonía colombiana

2.6.1. Evolución de colecciones

Para la iniciativa MapBiomias Amazonía hasta la fecha se han trabajado un total de cuatro 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 4 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, y finalmente, para la colección 4 se incluyó Landsat 4 para solventar algunos vacíos presentados antes del 2003; A nivel de mosaicos, se resalta un incremento en la cantidad de estos entre el 5% y 10% donde aquellos con calidad buena presentan un comportamiento creciente hacia un 16%, los de calidad regular se han mantenido constantes, y los de calidad mala han presentado una reducción del 77% (lo anterior teniendo como punto de referencia desde la colección 2); 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 Amazonia baja, posteriormente para la colección 4, se adicionó minería (ID:30), palma aceitera (ID:35), agricultura (ID:18), pastos (ID:15) , bosque inundable y formación natural no forestal inundable tanto para Andes como Amazonía. 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 la colección 3 ni 4 respectivamente; 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; 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 4 también se priorizaron 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 MapBiomias Amazonía Colombia.

Parámetro	COLECCIÓN			
	1	2	3	4
Serie	2000-2017	1985-2018	1985-2020	1985-2021
Regiones	NA	15	35	48
Cartas	47	47	47	47
Biomias	Amazonía Amazonía Alta Andes Macarena	Amazonía Alta Amazonía Baja	Amazonía Alta Amazonía Baja	Andes Amazonía
Sensor	5,7 y 8	5,7 y 8	5,7 y 8	4,5,7 y 8
Mosaicos	799	1577	1835	1961
Transversales	NO	NO	24,6,11	6,11,15, 18,35,24,30
Reglas de integración	NO	NO	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 4.0 de MapBiomias 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 Km² 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 las áreas 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 - 2021. 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.

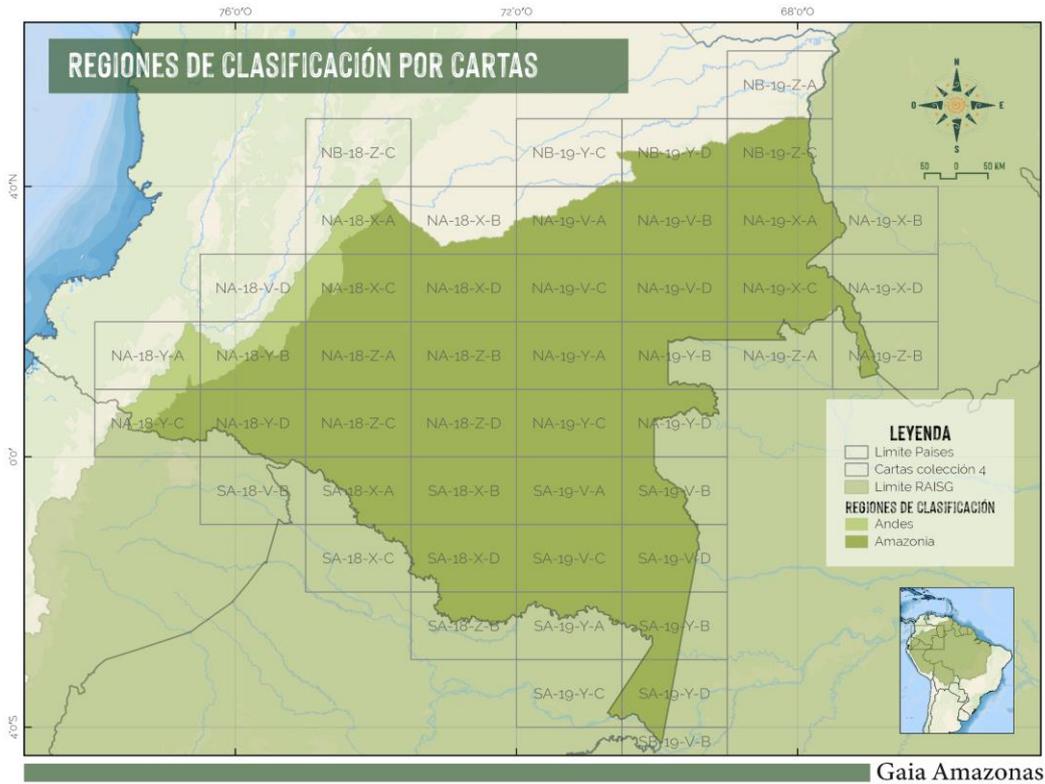


Figura 5
Cartas que cubren la región de la Amazonía colombiana.

Mosaico de mediana:

Para cada carta y por cada año, se conformó un mosaico de imágenes de Landsat de la serie 4, 5, 7 y 8. 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**.

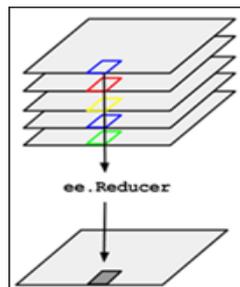


Figura 6
Píxel de mediana.

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, especialmente 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.

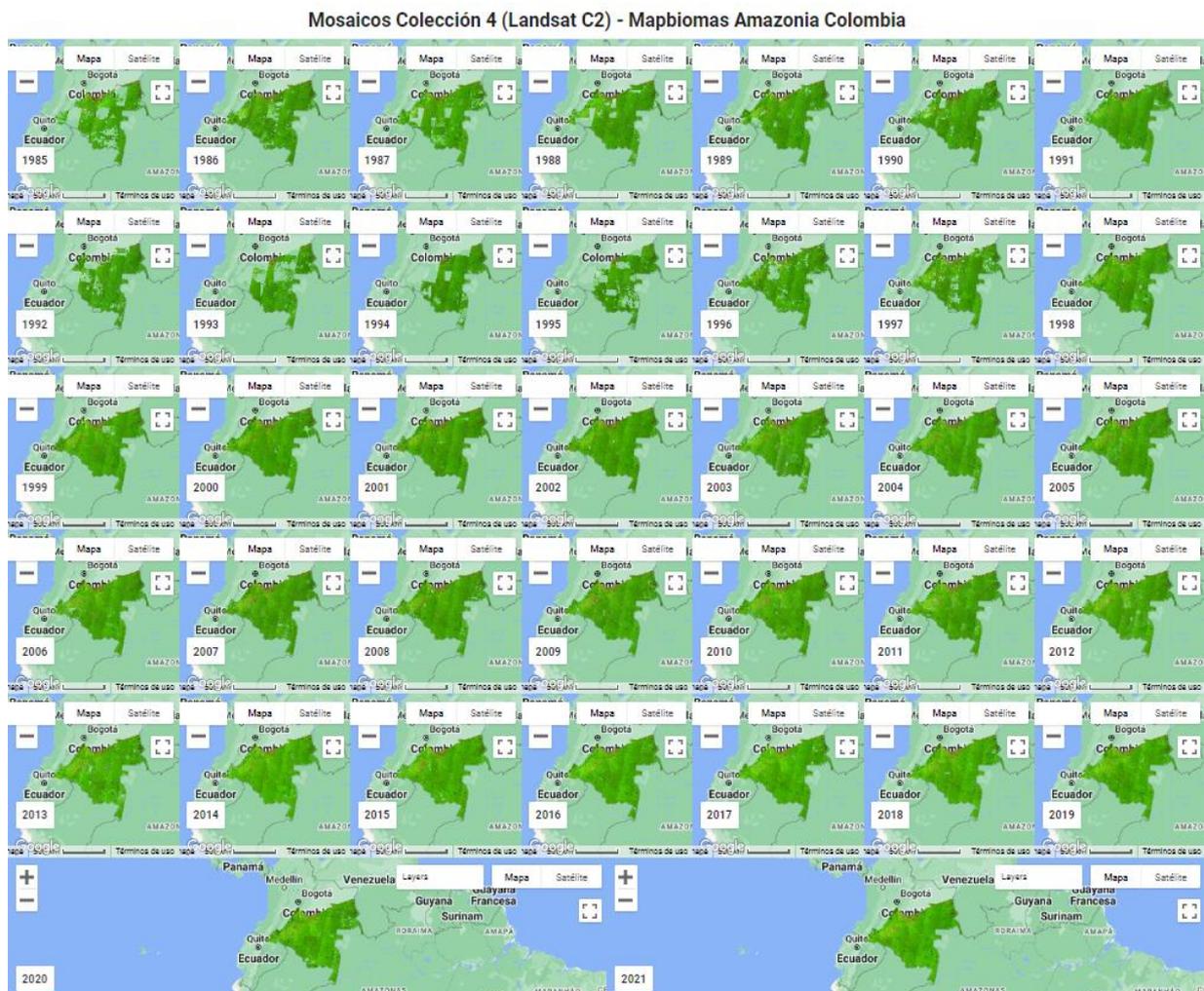


Figura 7
Mosaicos Landsat generados para la región de Andes y Amazonía.

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

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 bando, 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 37 años en toda la Amazonía se construyeron en total 1961 mosaicos, de los cuales el 52% se evaluaron como buenos, 32% como regulares y 13% de baja calidad. A esta cifra hay que añadir 51 mosaicos en los que por falta de información no se pudo obtener una composición mínima para poder utilizar en la etapa de clasificación.

En la **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 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 empieza a operar en 2013 y debido a su gran estabilidad en la captura de imágenes se consigue mejorar la composición de mosaicos, de esta manera, se observa como desde 2014 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.

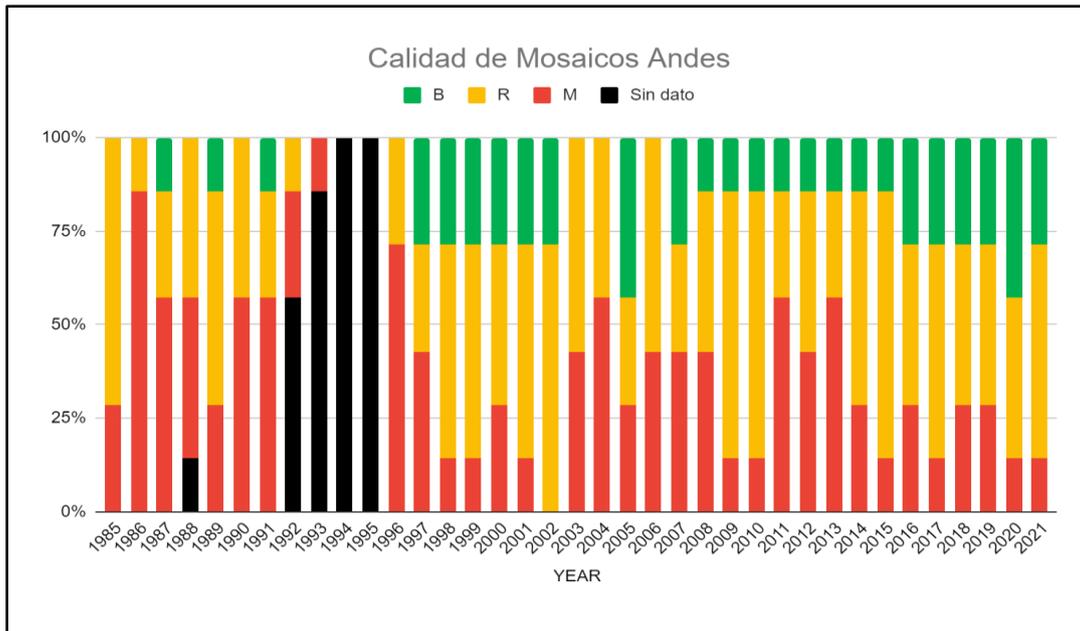


Figura 8
Calidad de mosaicos Andes.

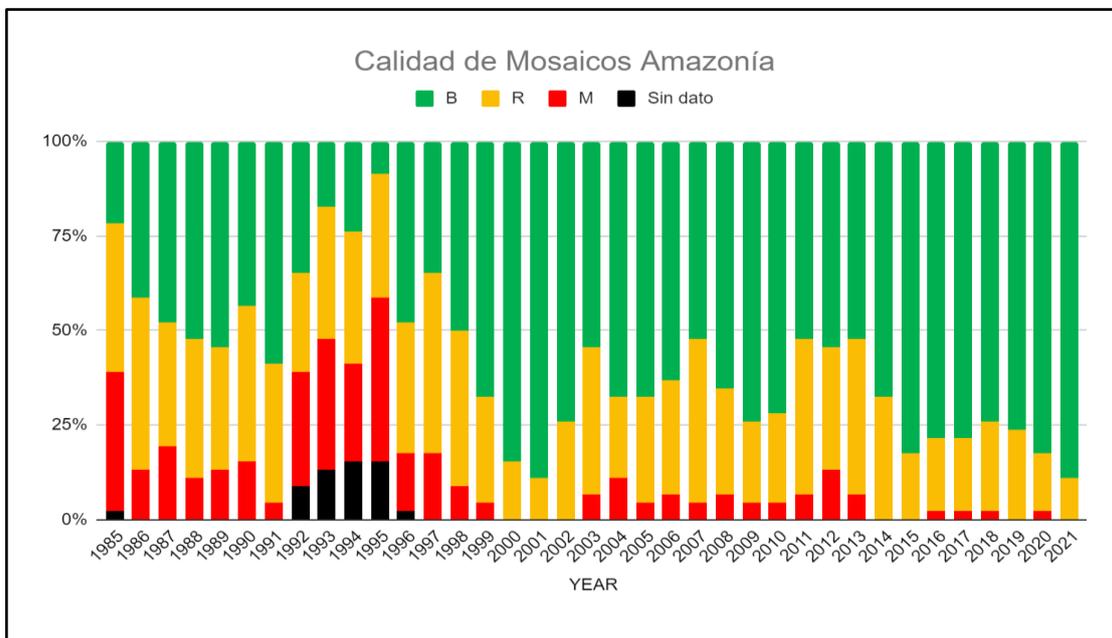


Figura 9
Calidad de mosaicos Amazonía.

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, 32% y 42% respectivamente. Solo el 16% 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 59% de los mosaicos fueron de buena calidad, 30% y 10% 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 27 cartas en Amazonía, esto principalmente entre el año 1992 y 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.

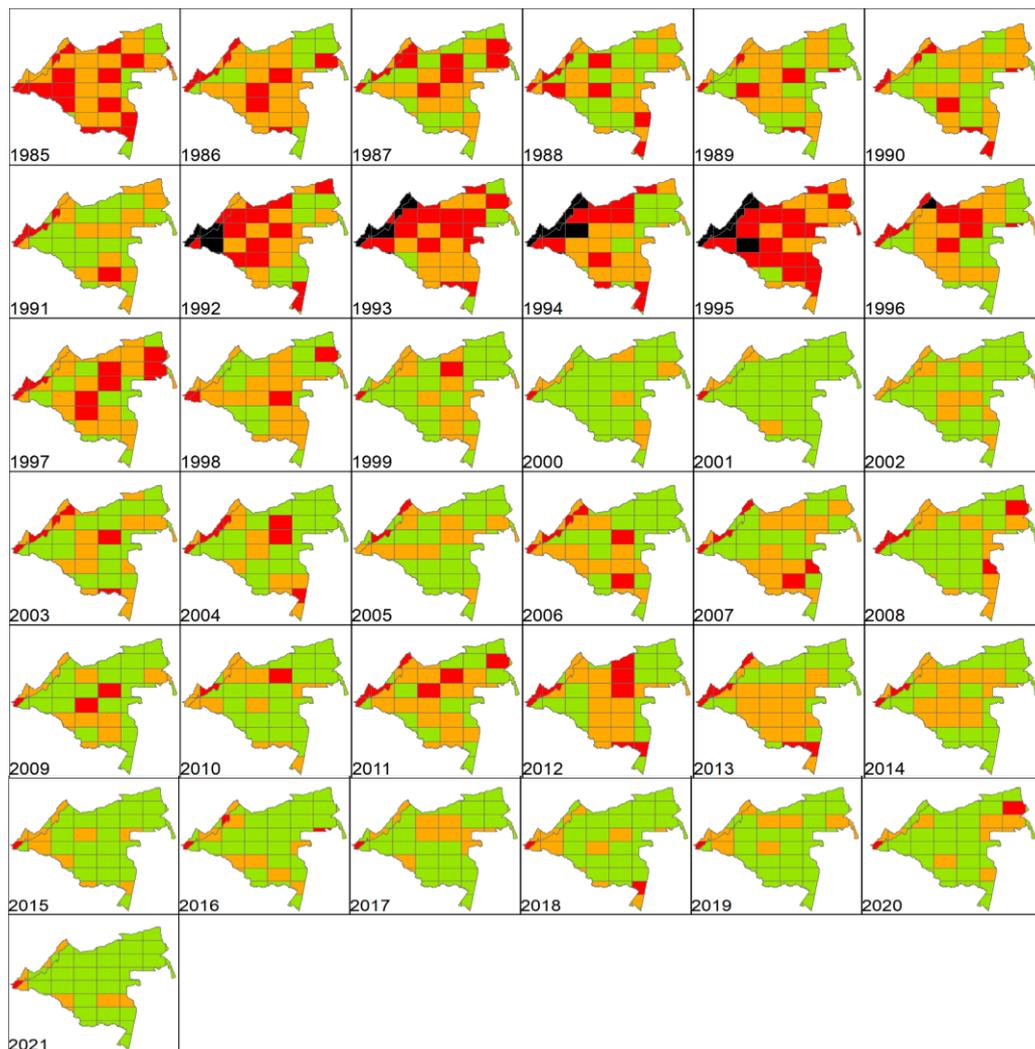


Figura 10
Calidad de los mosaicos 1985 - 2021.

2.6.3. Clasificación

2.6.3.1. Descripción metodológica

El proceso metodológico efectuado en la etapa de clasificación para la colección 4.0, 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 2020, 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 las cuencas hidrográficas presentes y algunos criterios biofísicos.

Posteriormente, se realizó la generación preliminar de la clasificación para los 37 años de la Colección 4 de MapBiomias Amazonía con base en las muestras generadas. La totalidad del proceso fue ejecutado en el ambiente de geoprocésamiento 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 subregiones 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 lluvioso¹.
- Cálculo de áreas a través de polígonos de exclusión definidos según el comportamiento del Mapa de MapBiomias Amazonía de la Colección 3 obteniendo una clasificación preliminar hacia el paso 5.
- Aplicación del filtro Gapfill para suplir los vacíos de información que pueda presentar el mosaico anual y reemplazando dichos píxeles por el valor temporalmente más cercano.
- Segunda identificación de muestras estables con la opción de generar geometrías de exclusión para omitir la selección de muestra estable en una ubicación determinada y cálculo de áreas hasta lograr una segunda clasificación preliminar en el paso 9.
- En la clasificación del paso 9, se da la opción de selección de muestras complementarias consideradas para cada clase de cobertura que se incluyen como geometrías manuales directamente desde EE de Google con la intención de realizar correcciones a la clasificación preliminar de este paso.

Finalmente, respecto a la aplicación de los filtros temporales, espaciales, de frecuencia y gapfill, el orden y número de iteraciones ejecutadas varía según la subregión 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 4 MapBiomias 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.

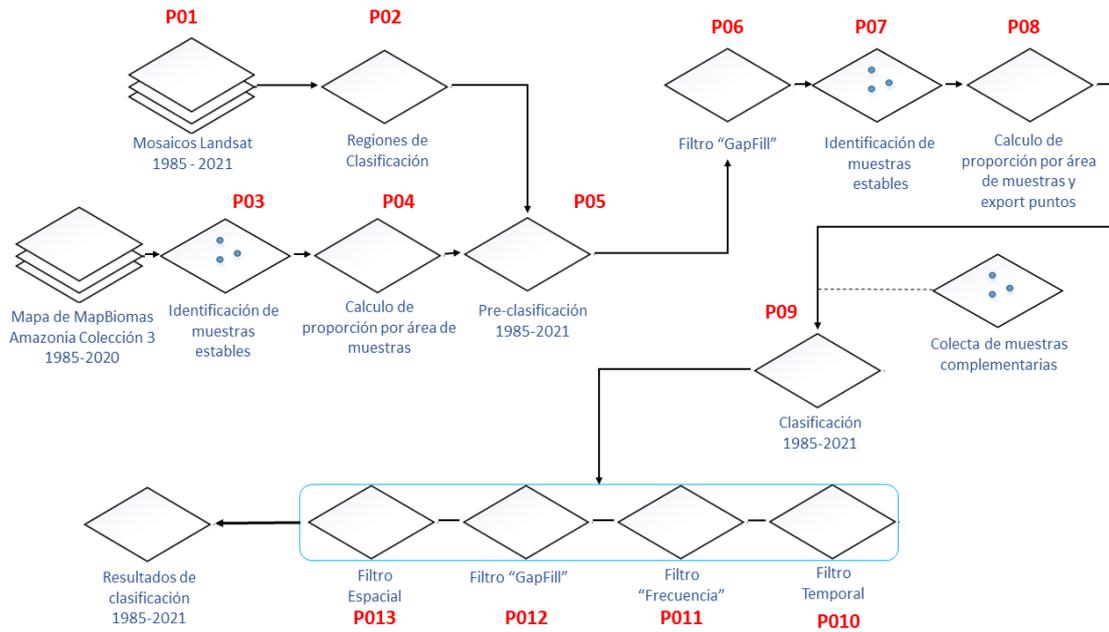


Figura 11
Flujo de clasificación MapBiomias Amazonía Colección 4.0.

Al igual que en la metodología abordada para la anterior colección, en la colección 4 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, agua, agricultura, pastos, minería y palma aceitera, 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 3 de MapBiomias Amazonía Colección 3 (Gaia Amazonas, 2021), 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.

Cabe resaltar que 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: 30209, 30210, 30204, 30226 y 30211, 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 estas. 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 Andina 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 30202, 30204, 30205, 30206 y 30208, 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.

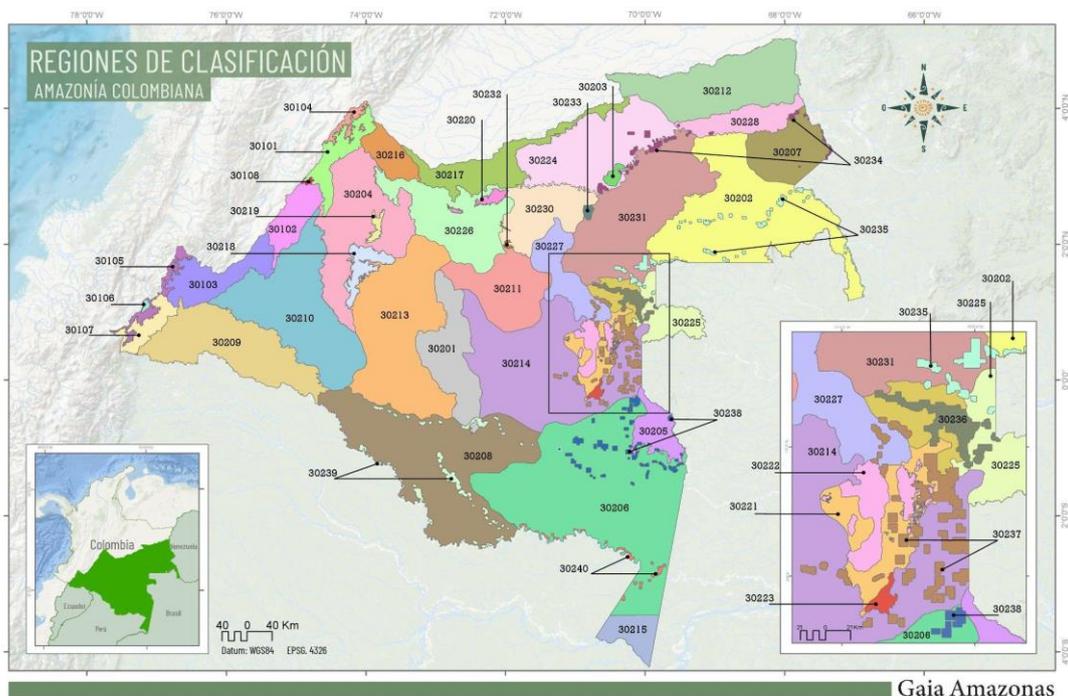


Figura 12
Regiones de clasificación Amazonía colombiana.

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.

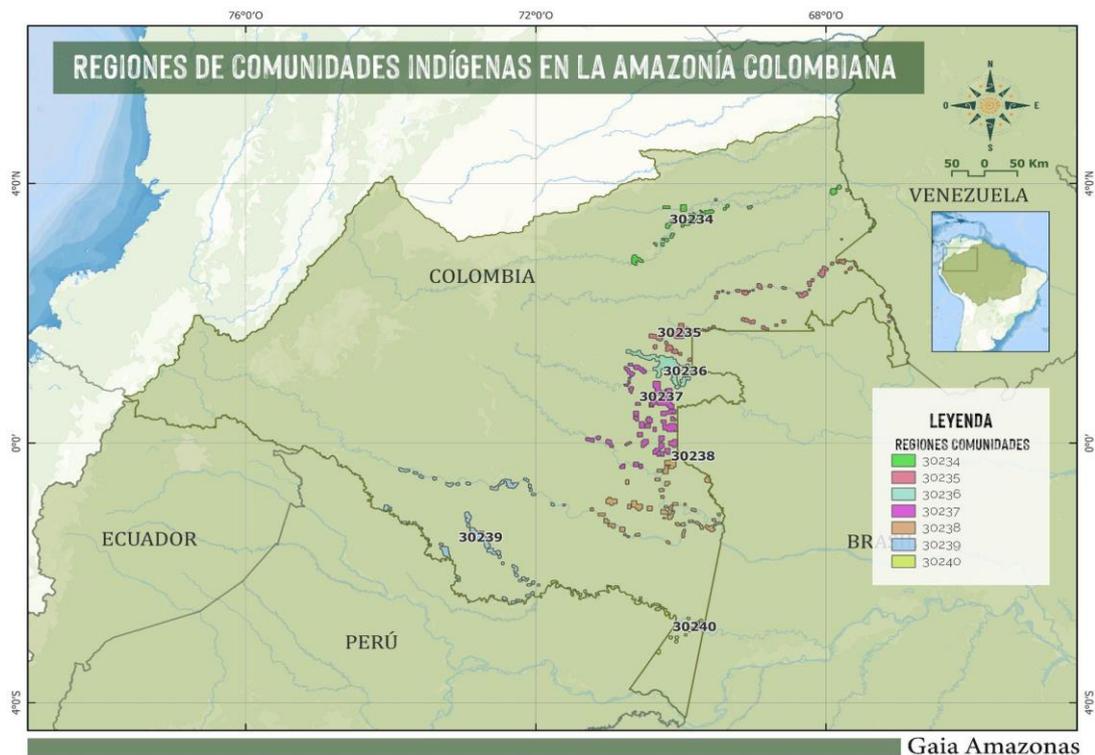


Figura 13
Regiones de comunidades indígenas en la Amazonía colombiana

A continuación, se presenta la **Tabla 4** con las principales características de cada área de trabajo definida para la colección 4 de MapBiomás 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.	3,13, 15, 21,24,25,33	128
	30102	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical, el Zonobioma Húmedo Tropical, Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Zonobioma Alternohigríco 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.	3,13, 15, 21,25,33	9
	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, 13, 15,21,24,25, 33	155
	30104	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical; está caracterizada por un clima Extremadamente	3,13,21,33	8

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
		Frío SuperHúmedo, Muy Frío Húmedo, Muy Frío SuperHúmedo, Frío Húmedo y Frío SuperHúmedo. El relieve está predominado por montañas.		
	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.	3,13,21,24,25,27,33	8
Andes	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	11
	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.	3,15,18,21,24,25,30,33	20
	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	8
Amazonía	30201	Región compuesta por el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Litobioomas de la Amazonía; Caracterizada por presentar lugares de afloramientos rocosos, posee	3,6,11,13,33	11

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
		un Cálido muy Húmedo y Cálido Húmedo. El relieve que predomina son las mesetas o montañas con cimas aplanadas.		
	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.	3,6,11,21,25,30,33	7
	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.	3,6,11,12,25,33	7
Amazonía	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.	3,6,15,21,24,25,33	11
	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.	3,6,11,21,24,25,30,33	11
	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.	3,6,11,18,21,24,25,30,33	12
	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.	3,6,11,12,21,24,25,30,33	19

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	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.	3,6,11,21,25,33	9
	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.	3,6,11,15,21,24,25,30,33	133
	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.	3,6,11,15,18,21,24,25,30,33,35	13
	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, 15,21,24, 25,33	7
	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.	3,6,11,12,13,21,24,25,33	11
	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.	3,6,11,12,15,21,25,33	13

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	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, 21,24,25,33	8
	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.	3,6,11,15,21,1 8,24,25,30,3 3	9
	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.	3,6,21,15,18, 24,25,35,33	7
	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.	3,6,11,12, 18,21,25,33, 35	6
	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 4,33	6
	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.	3,6,11,12,13,2 1,24,25,33	11
	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.	3,6,11,12,21,2 4,25,33	15

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	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.	3,6,11,21,24,25,33	9
	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.	3,6,13,21,25,33	8
	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.	3,6,11,13,21,25,33	9
	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.	3,6,11,12,18,21,25,33	101
	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.	3,6,11,18,21,24,25,33	14
	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, 15, 18, 21,24,25,33	7
	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.	3,6,11,13,21,25,33	9
	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.	3,6,11,21,25,33	14

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
Amazonía	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	7
	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.	3,6,11,13,15,18,21,25,33	14
	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.	3,6,11,21,24,25,33	12
	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.	3,6,11,13,25,33	9
	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.	3,6,11,13,25,33	10
	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.	3,6,11,12,18,21,24,25,33	11
	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, 18,21,24, 30,25,33	7

Región Mosaico	Región Clasificación	Descripción	Clases	Ver
	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.	3,6,11,15,18,2 1,24,25,33	9
	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.	3,6,11,13,18,2 1,24,25,33	104
Amazonía	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, 13, 18, 21, 24, 25,30,33	7
	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.	3,6,11,18,21,2 4,25,33	10
	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.	3,6,11,18,21,2 5,33	10

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 logró la consolidación de la leyenda para la colección 4.0 de la iniciativa MapBiomás en la Amazonía colombiana, la cual incluye un total de 13 clases correspondientes a coberturas naturales y uso del suelo. En la **Tabla 5** se puede visualizar 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.

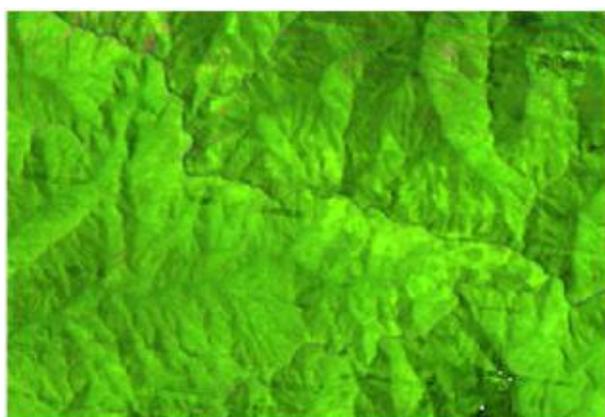
NIVEL 1				NIVEL 2				C/U
ID	Clase nivel 1	Hex. code	Color	ID	Clase nivel 2	Hex. code	Color	
1	Bosque natural	129912		3	Formación Forestal	6400		C
				6	Bosque Inundable	76A5AF		C
10	Formación Natural No Forestal	BBFCA C		11	Formación Natural No Forestal Inundable	45C2A5		C
				12	Formación Campestre	B8AF4F		C
				13	Otra Formación Natural No Forestal	F1C232		C
14	Agropecuaria y Silvicultura	FFFFB2		15	Pasto	FFD966		U
				18	Agricultura	E974ED		U
				21	Mosaico de Agricultura y/o Pasto	FFEFC3		U
				35	Palma aceitera	BA6A27		U
22	Área sin Vegetación	EA9999		24	Infraestructura Urbana	AA0000		U
				25	Otra Área sin Vegetación	FF8585		C/U
				30	Minería	FF0000		U
26	Cuerpo de agua	0000FF		33	Río, Lago u Océano	0000FF		C/U
6	No Observado	D5D5E5		27	No Observado	D5D5E5		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:

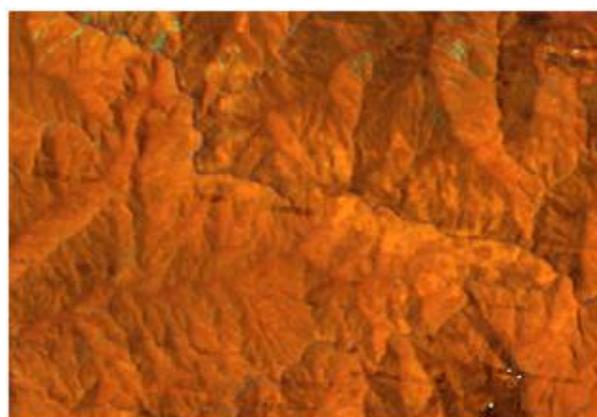
2.6.3.3.1. Leyenda Andes

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, pero inferior a 15 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.



RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomias

Figura 14

Respuesta Espectral Formación Forestal Andes.

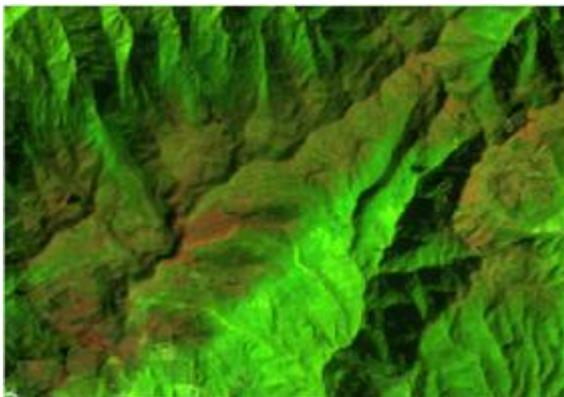
Bajo porotal - Cauca, Año: 2017, Escala: 1000 m, Coordenadas: -76.903022 W, 1.069196 N.

Para su diferenciación las formaciones forestales de los Andes 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 543 Landsat 7, 5 y 4, se presenta color verde claro con matices de verde oscuro, en una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan de color rojo intenso con matices oscuros, en verdadero color, se observa de tonos verdes oscuros profundos, se pueden observar tonalidades más oscuras debido al relieve y la sombra producida por el mismo. Los diferentes matices que se observan dependen de la altura de la vegetación y de la actividad fotosintética de la misma. La textura es altamente rugosa dada por las copas de gran tamaño finalmente, en la colección 4 de MapBiomias se representan con un tono verde oliva.

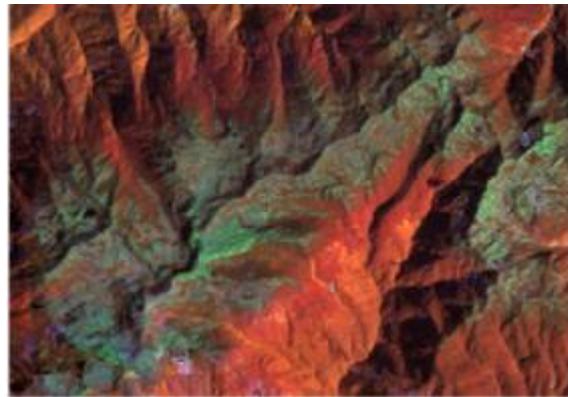
Otro tipo de formación natural no forestal (ID:13)

Se incluyen 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, 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. Se incluyen 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.

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).



RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomias

Figura 15

Respuesta Espectral Otro Tipo de Formación Natural no Forestal Andes.

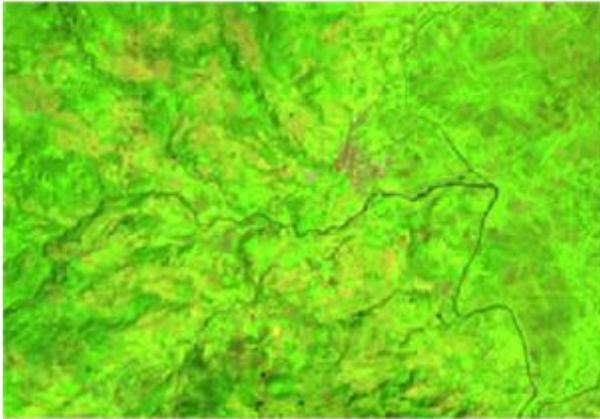
Vereda el ható - Caquetá, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -74.836148 W, 2.911565 N.

Como se evidencia en la **Figura 15**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4, se presenta de color rojo a naranja en tonos opacos. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4, se observan tonalidades de color cian a verde pálido claro y en zonas de mayor anegamiento matices de color azul oscuro. En verdadero color, se observa un tono amarillento-marrón, esta cobertura 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 colección 4 de MapBiomias se representan con un tono amarillo fuerte.

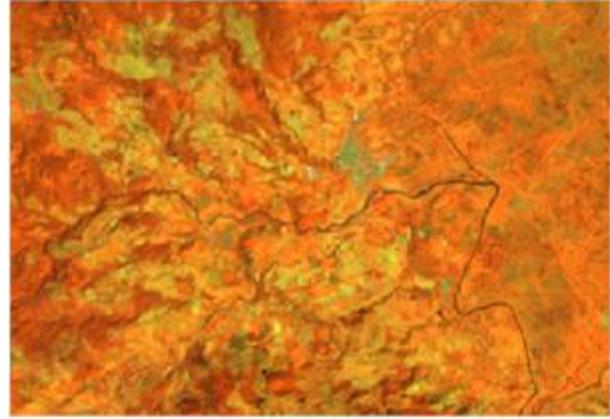
Mosaico de Agricultura y/o Pasto (ID:21)

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).



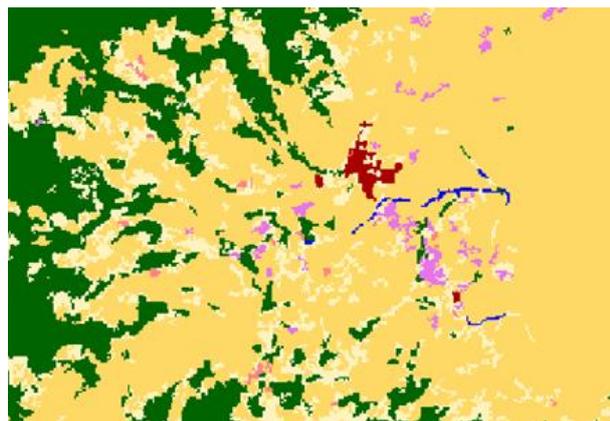
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomass

Figura 16

Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto Andes.

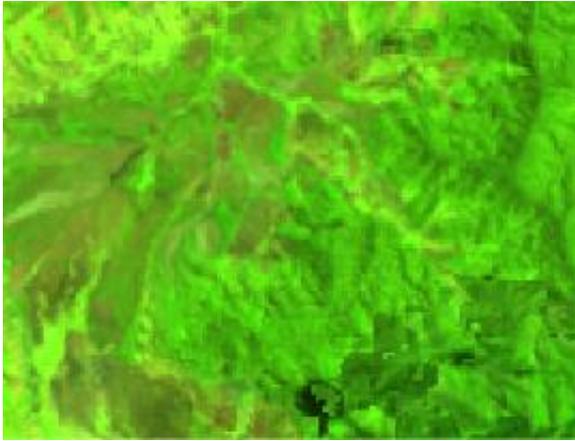
Municipio de Santiago - Putumayo, Año: 2019, Escala: 1000 m, Coordenadas: -77.019095 W, 1.139339 N.

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.

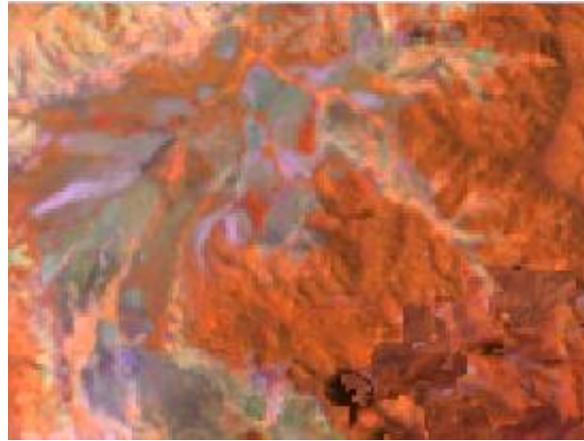
A nivel de firma espectral como se observa en la **Figura 16** esta clase de cobertura presenta en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4, una matriz de tonos de verde claro, dentro de esta también se observan colores rosados los cuales corresponden a suelos en preparación, cultivos en diferentes estados fenológicos y a pastos respectivamente. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y 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 cian en pequeños parches. Presenta una textura fina homogénea siguiendo un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios. En la colección 4 de MapBiomass se representan con un tono crema.

Otra área sin vegetación (ID:25)

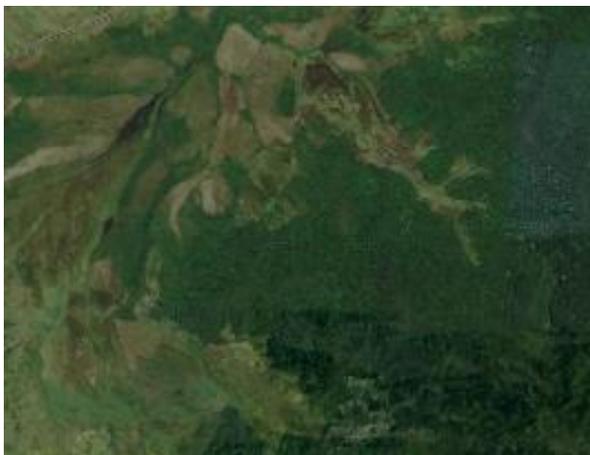
Áreas de poca o nula vegetación natural o áreas intervenidas de origen antrópico, no mapeadas en otras clases. Puede incluir roca expuesta, áreas de transición de cultivos y zonas arenosas naturales como playas o dunas.



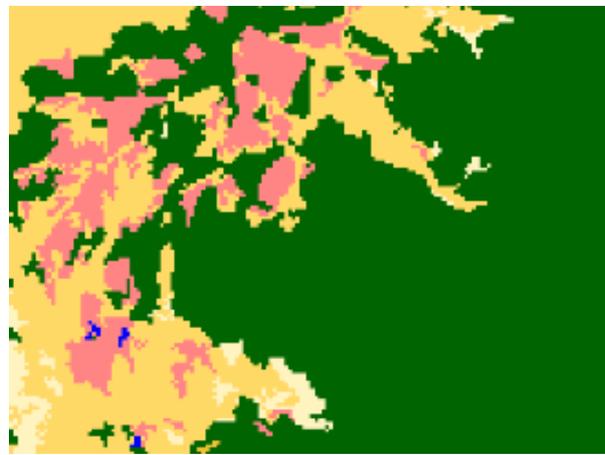
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomias

Figura 17

Respuesta Espectral Otras Áreas sin Vegetación Andes.

Río Papamene - Meta, Año: 2021, Escala: 500 m, Coordenadas: -74.622500 W, 3.192958 N.

En una combinación RGB 654 Landsat 8 y RGB 543 Landsat 7, 5 y 4 como se observa en la **Figura 17** 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 RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar color azul 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 4 de MapBiomias se representan con un tono rosa suave.

Cuerpos de agua - 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).

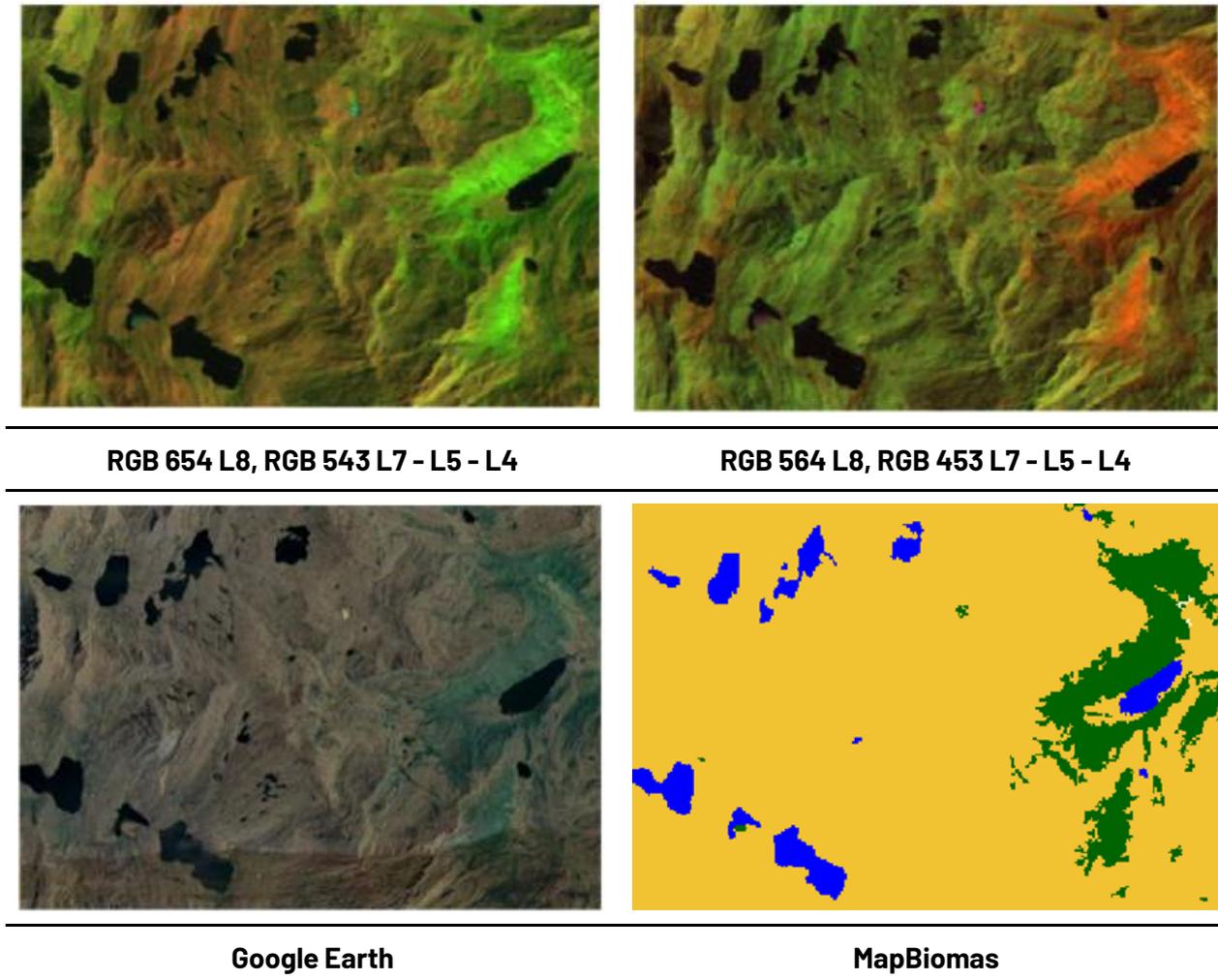


Figura 18

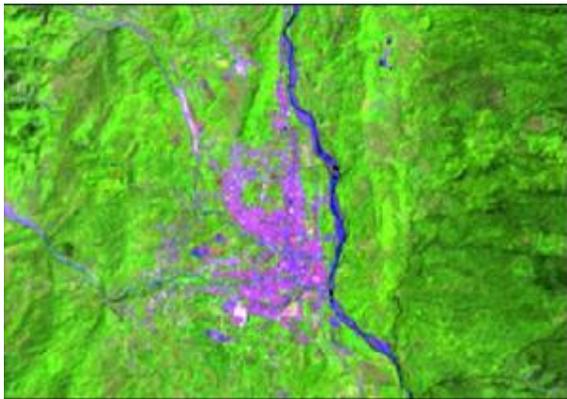
Respuesta Espectral Río, Lago u Océano Andes.

Laguna larga - Meta, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -74.140823 W, 3.981963 N.

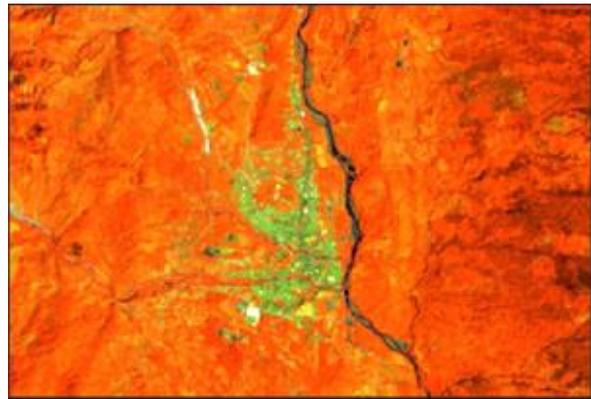
La respuesta espectral de los cuerpos de agua depende de la carga de partículas en suspensión por ende los ríos presentan color azul oscuro debido al contenido de sedimentos y materia orgánica en una combinación RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 como se observa en la **Figura 18**; en una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, 5 y 4 se observan de color rojo 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 4 de MapBiomass se representan con un tono azul rey.

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 infraestructura urbana está representada por caseríos o edificaciones dispersas que no cumplen con la unidad mínima cartografiada 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.



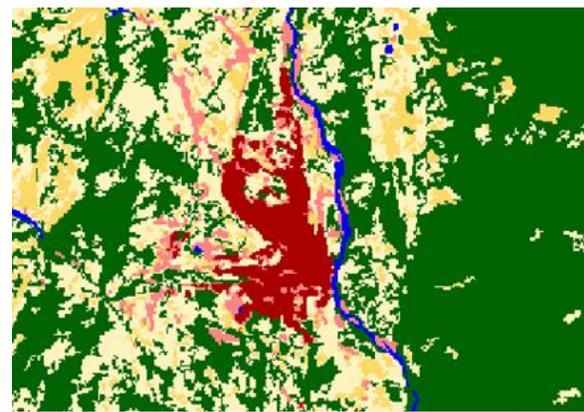
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomas

Figura 19

Respuesta Espectral Infraestructura Urbana Andes.

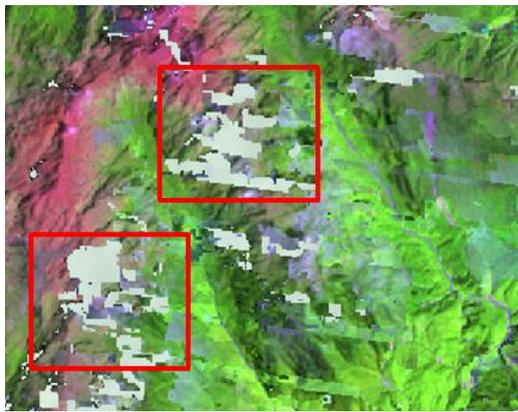
Mocoa - Putumayo, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -76.648647 W, 1.150399 N.

Como se observa en la **Figura 19**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar un color violeta fuerte brillante, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar un tono azul claro brillante, en verdadero color se pueden observar matrices de tonos en su mayoría grises, con matices verdes y marrones, esta cobertura muestra una textura fina a media uniforme, determinada por el tamaño y densidad de las construcciones,

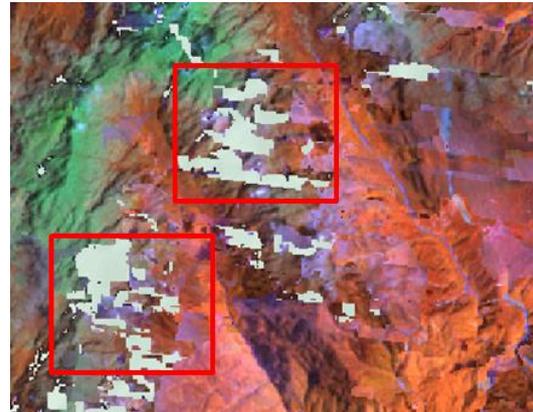
La homogénea distribución de estas y la red vial le otorgan un patrón geométrico que se asemeja a una cuadrícula, en la colección 4 de MapBiomás se representa con un tono rojo fuerte.

No observado (ID:27)

Comprende a algunas zonas del mosaico (generalmente las más altas) las cuales tienen vacíos de información en toda la serie temporal. Como se puede visualizar en la **Figura 20**, hay pequeños parches sin información que son causados por las nubes que están presentes. A la derecha de la **Figura 20** se observa el resultado de la superposición de todos los mosaicos de la serie temporal donde los cuadros rojos resaltan los parches que no presentan datos. En la colección 4 de MapBiomás, así como en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 y en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, 5 y 4, estas zonas presentan un tono gris claro, en color verdadero se presentan en su mayoría tonos blancos debido a la nubosidad, superpuestos sobre el tipo de cobertura correspondiente, esta se suele presentar en zonas con gran altitud o zonas donde la nubosidad es persistente.



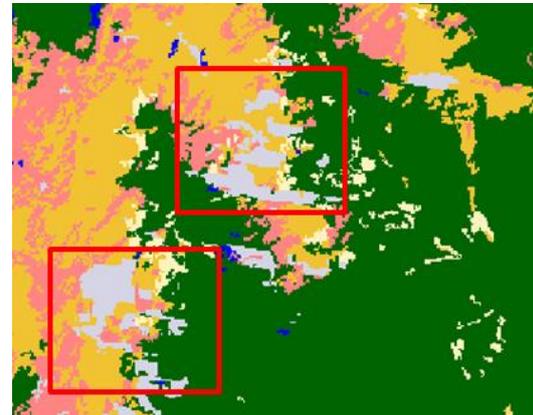
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomás

Figura 20

Respuesta Espectral No Observado Andes

Llorente - Nariño, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -77.385695 W, 0.609892 N

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, se caracterizan por tener una respuesta espectral similar a la clase 25, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 se observan en tonos morados vivos, a morados fuertes, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, 5 y 4, se pueden observar de igual manera en tonos violetas con tonalidades pasteles como se evidencia en la **Figura 21**.

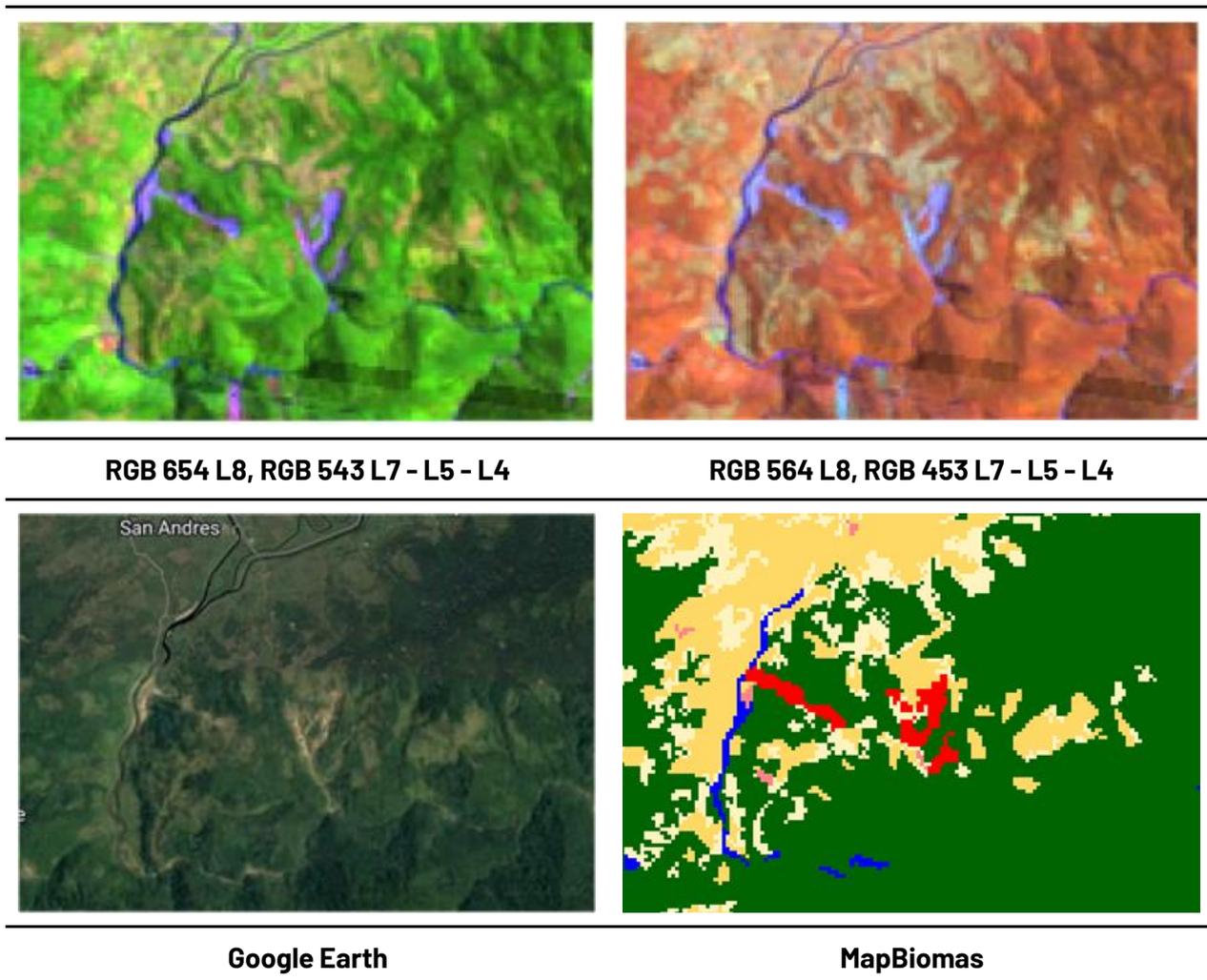


Figura 21

Respuesta Espectral Minería Andes.

Vereda San Andrés - Santiago- Putumayo, Año: 2021, Escala: 500 m, Coordenadas: -76.973711 W, 1.101148 N

En verdadero color estas zonas se perciben en tonalidades amarillas opacas, debido a la remoción del suelo para la actividad minera finalmente, en la colección 4 de MapBiomass esta se ve representada por un tono rojo encendido.

Pastos (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, enclamiento 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.



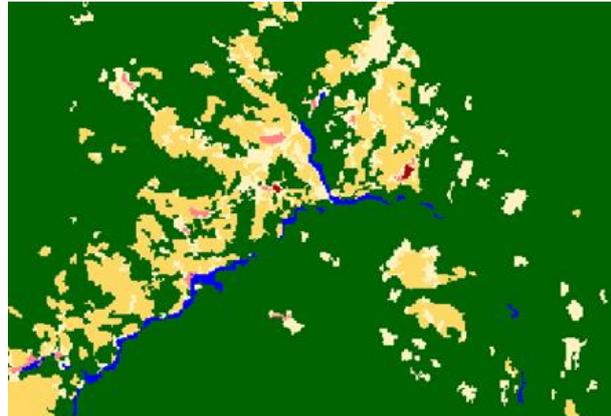
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomass

Figura 22

Respuesta Espectral Clase pastos Andes

Llorente - Nariño, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -77.361841 W, 0.777023 N.

Tal como se presenta en la **Figura 22**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar un color verde muy vivo, con algunas tonalidades de amarillo y rosa claro, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar un tono rojo vivo, con matices de amarillo y cian claro, en verdadero color se observa un tono verde pálido claro uniforme, en la colección 4 de MapBiomass se observa de un tono amarillo opaco.

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. Además, considera cultivos de especies herbáceas y cultivos arbustivos. Por otro lado, se debe tener en cuenta que esta clase 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 puede tener tonos verdes claros a rojizos (amarillo, naranja y rojo).



RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomas

Figura 23

Respuesta Espectral Clase Agricultura Andes.

Vereda san silvestre - San Francisco - Putumayo, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -76.936208 W, 1.161335 N.

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar una matriz de tonos verdes claros, marrones suaves, rosas suaves y fuertes, esto dependiendo la etapa en la que se encuentre el cultivo, en combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, 5 y 4 se caracteriza por presentar una matriz de rojos claros y azules suaves a medios, en verdadero color se observa una matriz de tonalidades de verdes medios a suaves, se observan tonos marrones a morados, en general esta cobertura se caracteriza por tener formas geométricas muy bien definidas, las cuales en

general se encuentran agrupadas entre sí o entremezcladas con cobertura de pastos, en la clasificación 4 de MapBiomias esta se representa con tono fucsia, tal como se evidencia en la **Figura 23**.

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.



RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4

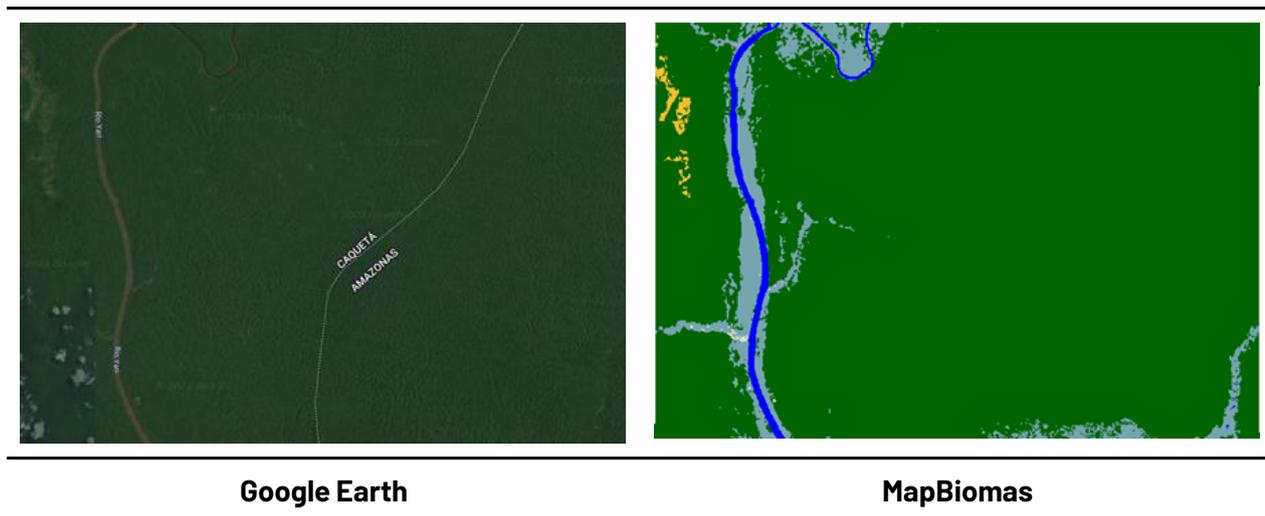


Figura 24

Respuesta Espectral de la Formación Forestal Amazonía.

Límite Caquetá - Amazonas, Año: 2021, Escala: 2km, Coordenadas: -72.2377 W, -0.4525 N.

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 24**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 4 de MapBiomass 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). En la clasificación 4 de MapBiomass esta se representa con tono verde con valor hexadecimal de 6400.

Bosque Inundable (ID:6)

Hace referencia a áreas con vegetación generalmente de tipo arbóreo adyacentes a cuerpos de agua (lóticos) las cuales corresponden principalmente a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos y con adaptaciones particulares a estas condiciones (López & Rodríguez, 2011) con una duración de más de dos meses (Rincón et al., 2009), caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros.

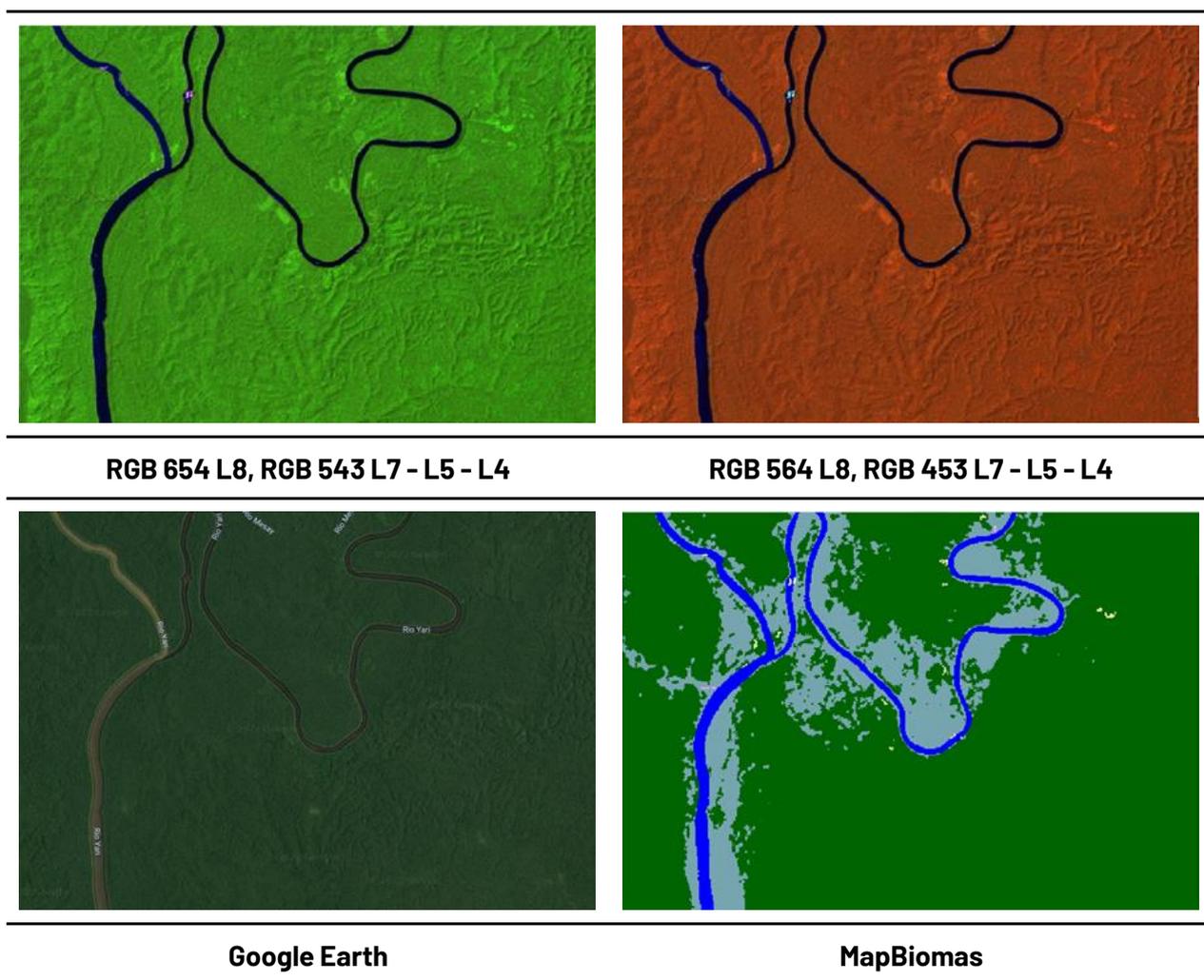


Figura 25

Respuesta Espectral Bosque inundable Amazonía.

Caquetá - río Yarí, río Mesay Amazonas, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -72.29379 W, -0.37173 N.

En este tipo de coberturas en la combinación de falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se evidencian 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 25**. 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 clasificación 4 de MapBiomas esta se representa con tono azul claro con valor hexadecimal de 76A5AF.

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 periodos 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).

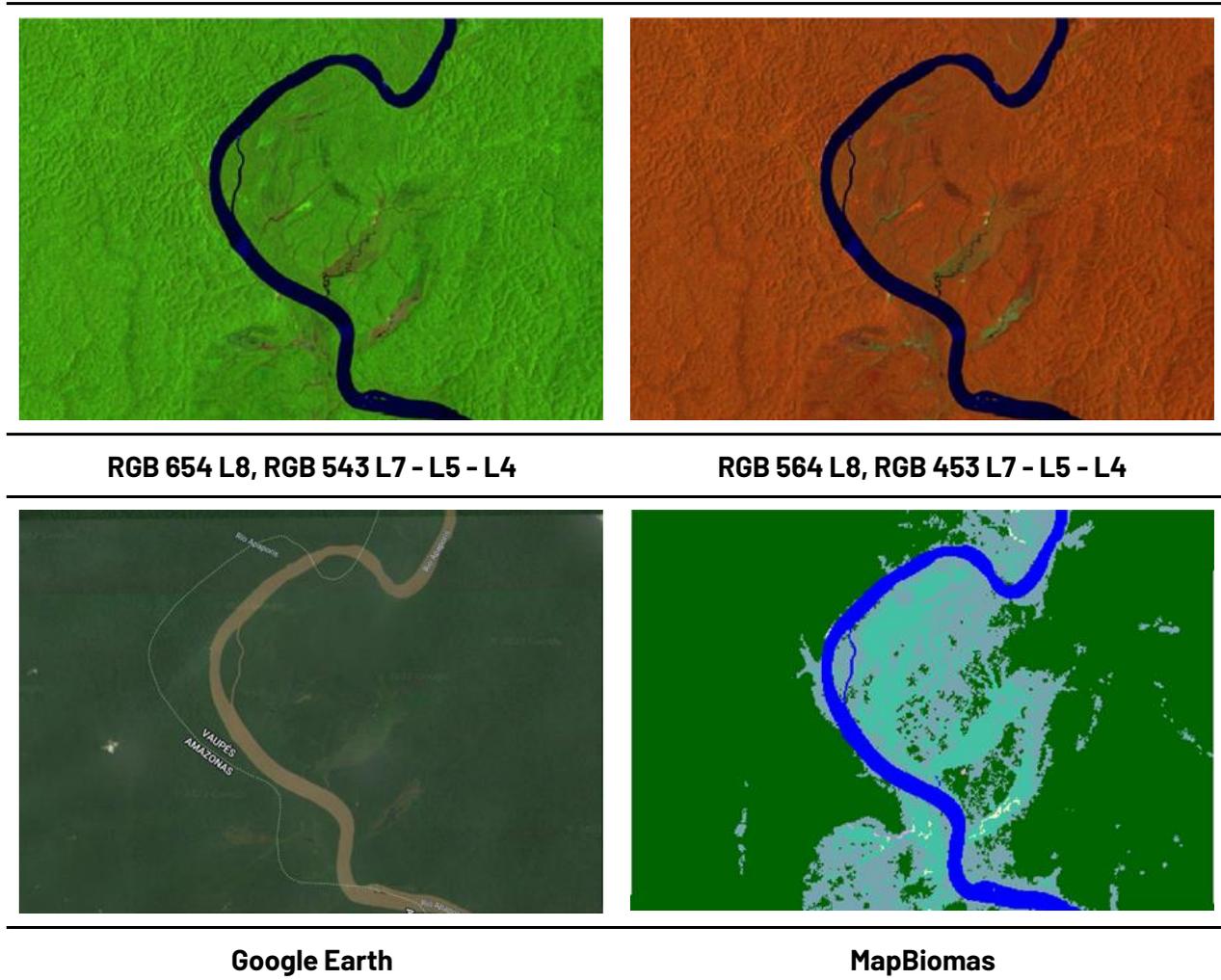


Figura 26

Respuesta Espectral Formación Natural No Forestal Inundable Amazonía.

Río Apaporis, límite entre Vaupés y Amazonas, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -70.91985 W, - 0.16152 N.

Como se observa en la **Figura 26**, para los herbazales inundables, la combinación de falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4, se observan tonalidades de color marrón o café con combinaciones naranjas oscuras. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 4 de MapBiomass esta se representa con tono verde aguamarina con valor hexadecimal de 45C2A5.

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.

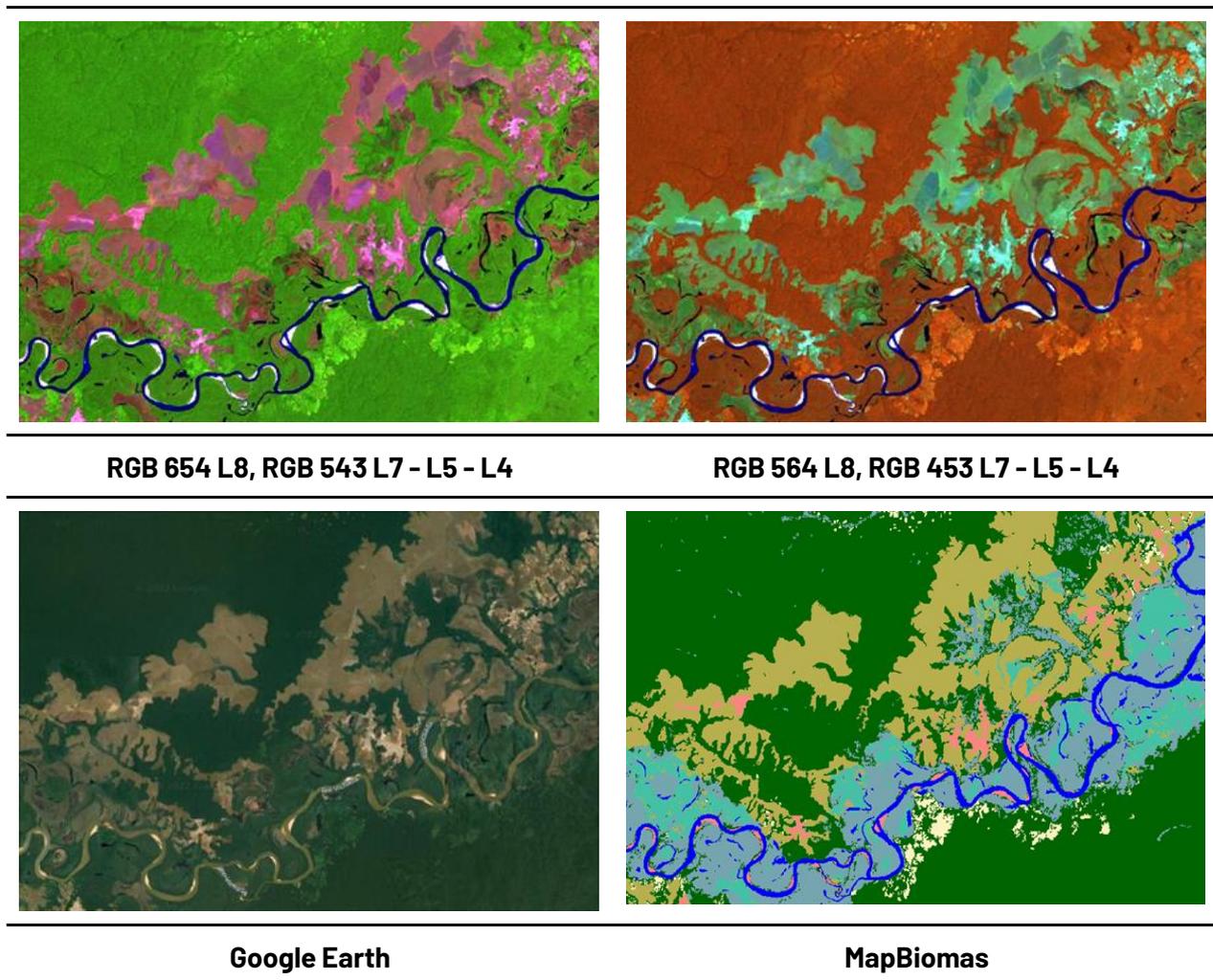


Figura 27

Respuesta Espectral Formación Campestre naturales Amazonía.

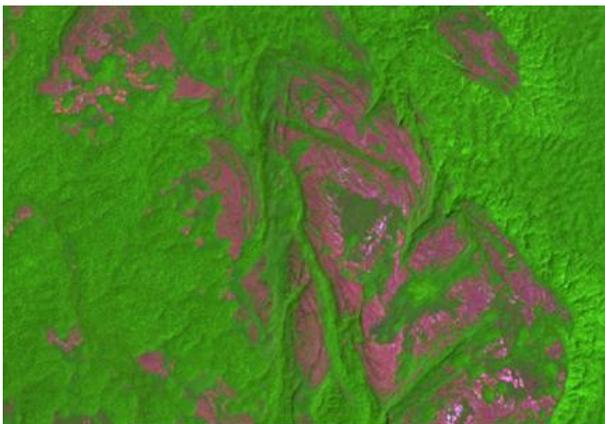
Río Vichada, cercanía a La Palometa (Cumaribo, Vichada), Año: 2021, Escala: 2km, Coordenadas: - 69.0575 W, 4.4042 N.

Como se evidencia en la **Figura 27**, la respuesta espectral de esta cobertura en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 4 de MapBiomás esta se representa con tono verde ocre con valor hexadecimal de B8AF4F.

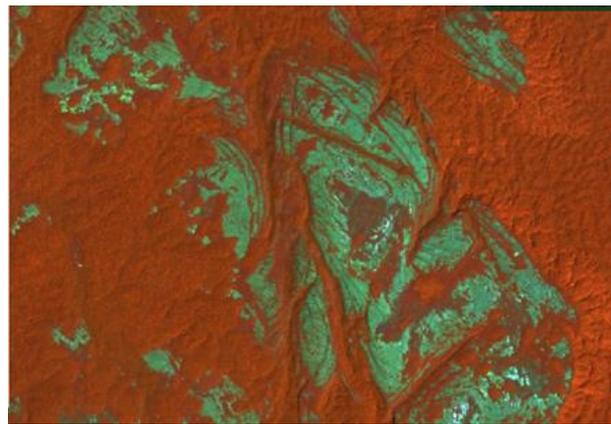
Otro tipo de formación natural no forestal (ID:13)

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 Vaupés y Guainía.



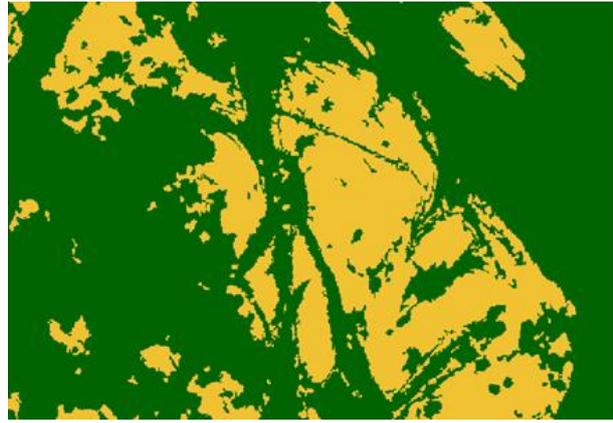
RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomas

Figura 28

Respuesta Espectral Otro tipo de Formación Natural no Forestal Amazonía.

Sur de la Serranía de la Macarena, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -72.40907 W, -0.13514 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 28** en la imagen satelital en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomas esta se representa con tono amarillo con código hexadecimal de F1C232.

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, enclavamiento 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 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)

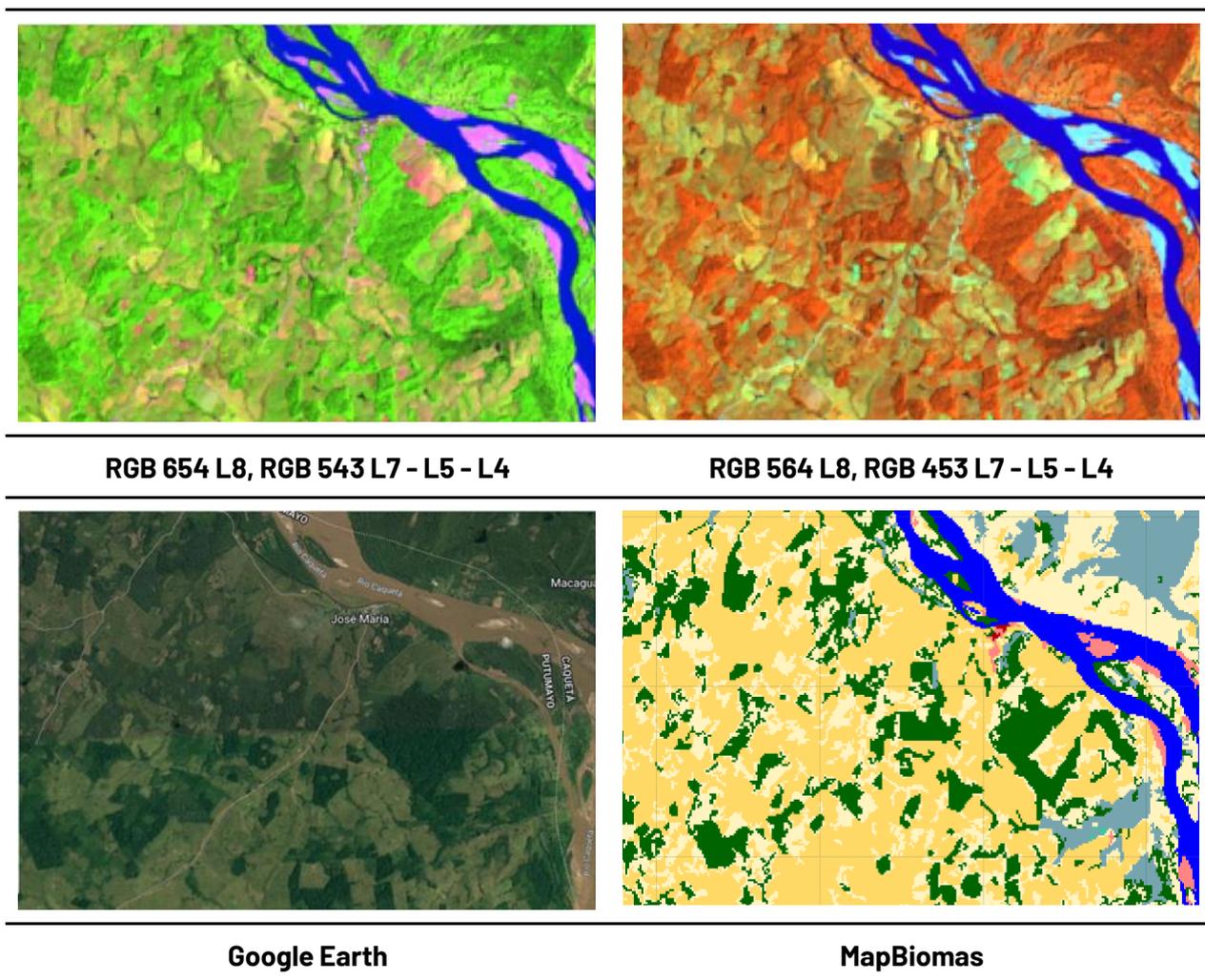


Figura 29

Respuesta Espectral Pastos Amazonía

Río Caquetá, al sur de José María (Putumayo), Año: 2021, Escala: 500m, Coordenadas: -75.8965 W, 0.91756 N.

Esta cobertura se interpreta en la Amazonía de Colombia como vegetación baja con claras intervenciones antrópicas observable generalmente por formas regulares y transiciones abruptas de coberturas como se observa en la **Figura 29**. En la imagen satelital en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se presenta de color verde brillantes. Presenta una textura heterogénea fina a media con un patrón asociado con intervenciones antrópicas. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomas esta se representa con tono amarillo ocre con código hexadecimal de FFD966.

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).

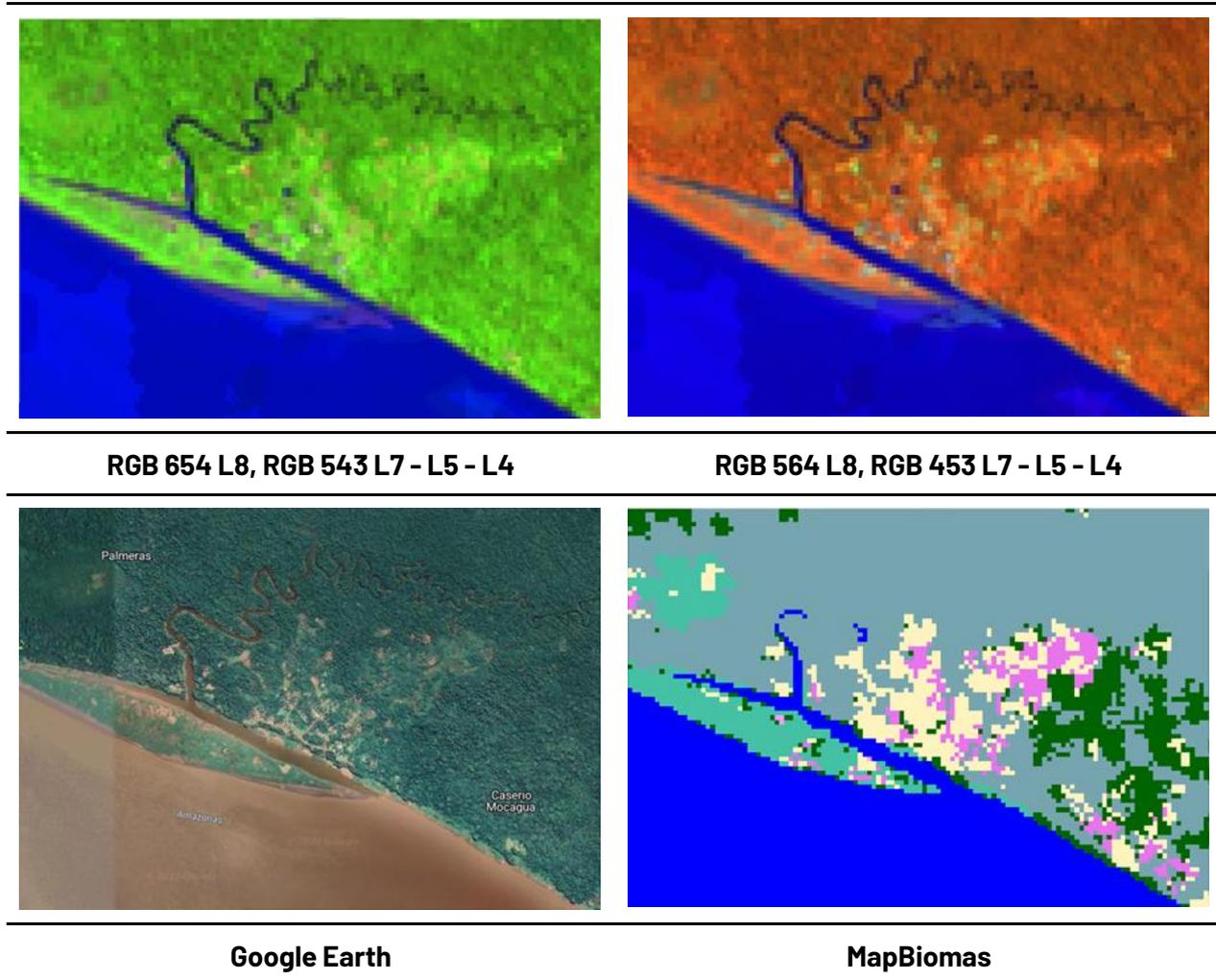


Figura 30

Respuesta Espectral Agricultura Amazonía.

Caserío Mocagua, límite entre Colombia y Perú, Año: 2021, Escala: 200m, Coordenadas: -70.25203 W, - 3.82279 N.

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 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4, se observan se presenta de color puede tener tonos verdes claros a rojizos (amarillo, naranja y rojo). En una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se observan tonalidades hacia los colores verdes 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 30**. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomass esta se representa con color lila con código hexadecimal E974ED.

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)

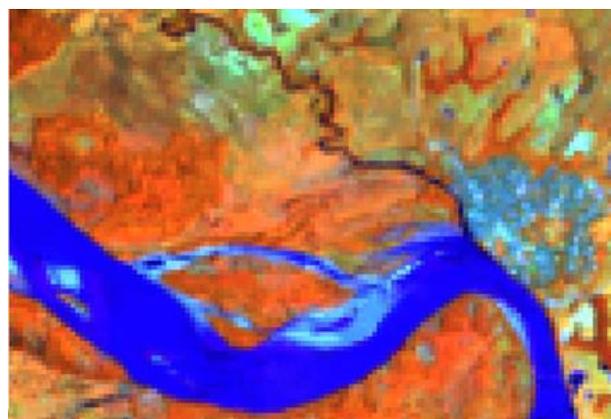
Los cultivos permanentes se relacionan con los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen: cultivos de herbáceas, cultivos de porte arbustivos como café y cacao y cultivos de porte arbóreo como los frutales. Cabe mencionar que para esta colección (Colección 4) 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, sin embargo, como se había mencionado anteriormente estas clases se encuentran excluidas en la mayoría del territorio e identificadas cada una con su propio ID. (Véase Pastos ID:15 y Agricultura ID:18 en esta misma sección).



RGB 654 L8, RGB 543 L7 - L5 - L4



RGB 564 L8, RGB 453 L7 - L5 - L4



Google Earth



MapBiomass

Figura 31

Respuesta Espectral Mosaico de Agricultura y/o Pasto Amazonía.

Curillo, límites entre Caquetá y Putumayo, Año: 2021, Escala: 200m, Coordenadas: -75.93076 W, 1.03322

N

Como se observa en la **Figura 31**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se presenta de color verde manzana muy claro. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomass esta se representa con tono ocre con código hexadecimal FFEFC3.

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.

Otras áreas 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, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos (Castellanos, 2010). Incluye zonas arenosas naturales en terrenos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal de tipo ralo; en la Amazonía de Colombia son notorios los bancos de arena de los ríos, se incluyen además suelo expuesto por deforestación, afloramientos rocosos y zonas quemadas.

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.

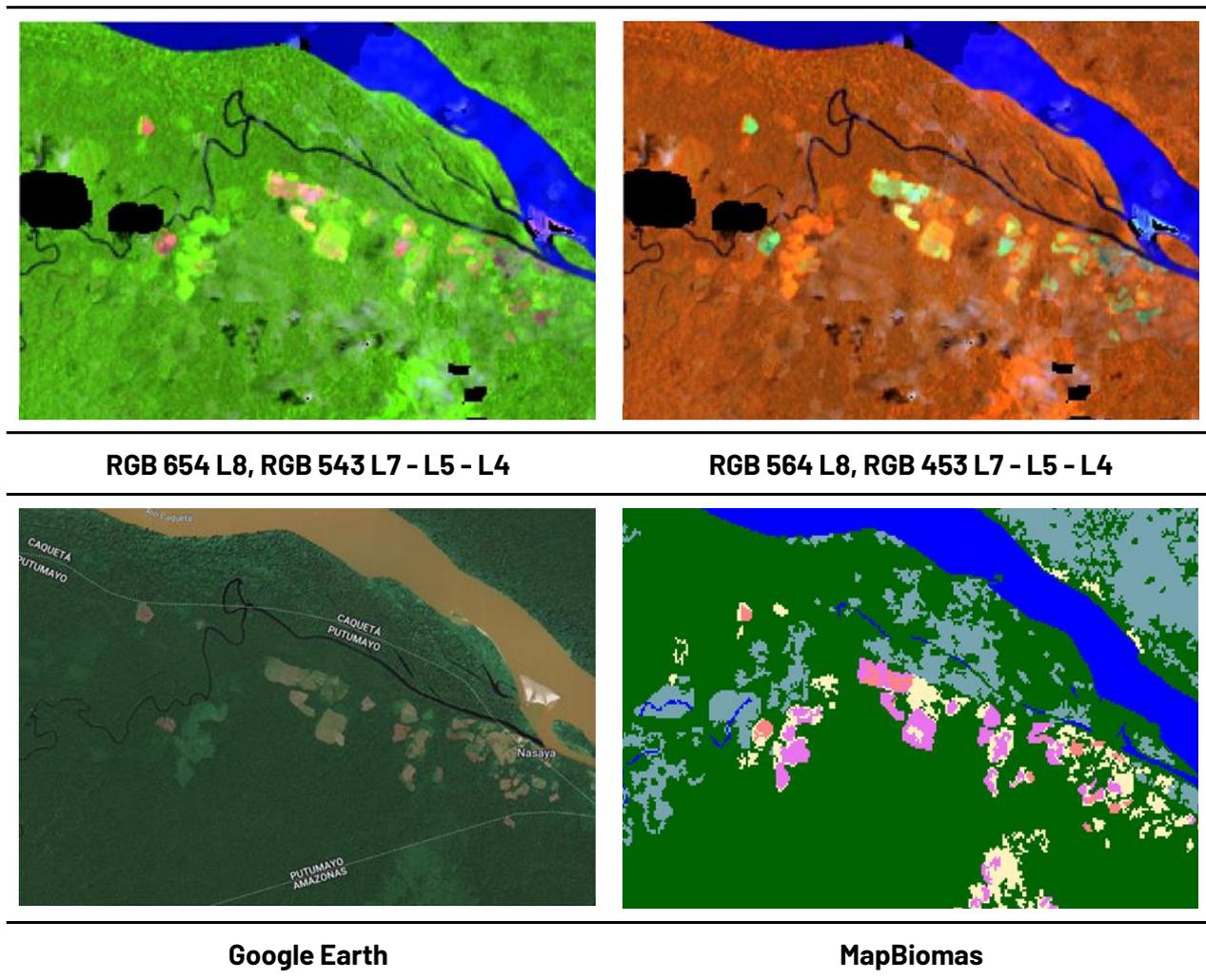


Figura 32

Respuesta Espectral Otras Áreas sin Vegetación Amazonía.

Caserío Nasaya, límites entre Caquetá, Putumayo y Amazonas, Año: 2021, Escala: 500m, Coordenadas: - 73.871196 W, -0.398271 N

Como se observa en la **Figura 32**, la respuesta espectral de las otras áreas sin vegetación en la combinación 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 es de coloración verde limón, a tonalidades amarillas; en una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4, se observan de color rojo escarlata casi negro. Muestra una textura muy fina homogénea y límites generalmente continuos y homogéneos. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomass esta se representa con tono morado con código hexadecimal FF8585.

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.

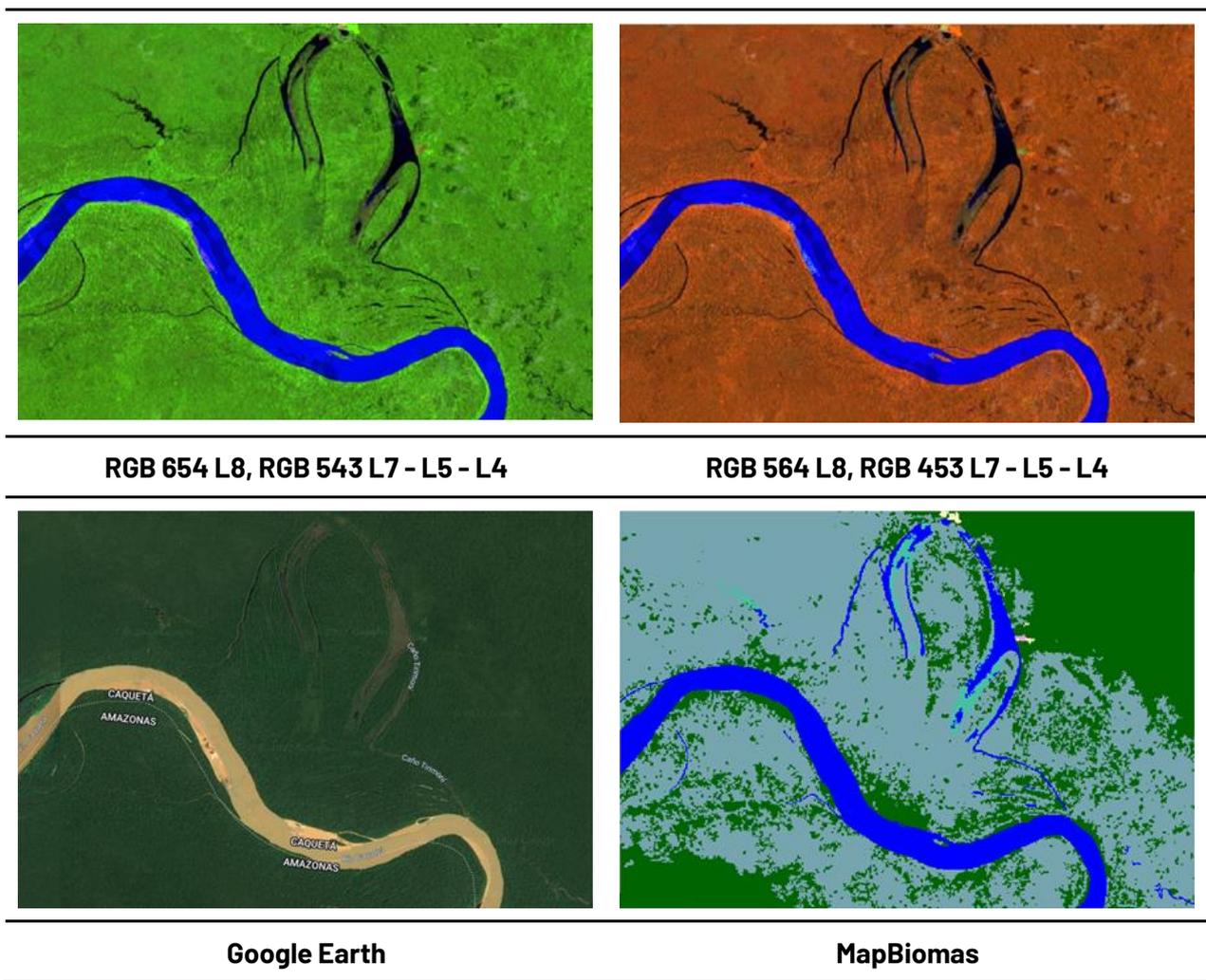


Figura 33

Respuesta Espectral de Río, Lago u Océano Amazonía.

Caño Trimoní y río Caquetá, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -73.6762 W, -0.38892 N.

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 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4. En una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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 33** con un patrón de drenaje que sigue los diferentes cursos hídricos en algunos casos de tipo dendrítico. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomás esta se representa con tono azul con código hexadecimal 0000FF.

Infraestructura Urbana (ID:24)

Comprende superficies de grandes y 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; Los centros urbanos de extensión continua se pueden presentar en: Leticia (Amazonas), Florencia (Caquetá), Mocoa (Putumayo), Orito (Putumayo), Calamar (Guaviare), entre otros. La mayoría de los

centros urbanos de gran extensión cuentan con infraestructura aérea (aeropuerto) y vías de conexión con otras ciudades.

De igual forma se pueden encontrar caseríos en medio de las formaciones forestales o alrededor de los cuerpos hídricos. Algunos caseríos pueden contar con pistas aéreas debido a que este medio representa la única vía de acceso de entrada y salida.

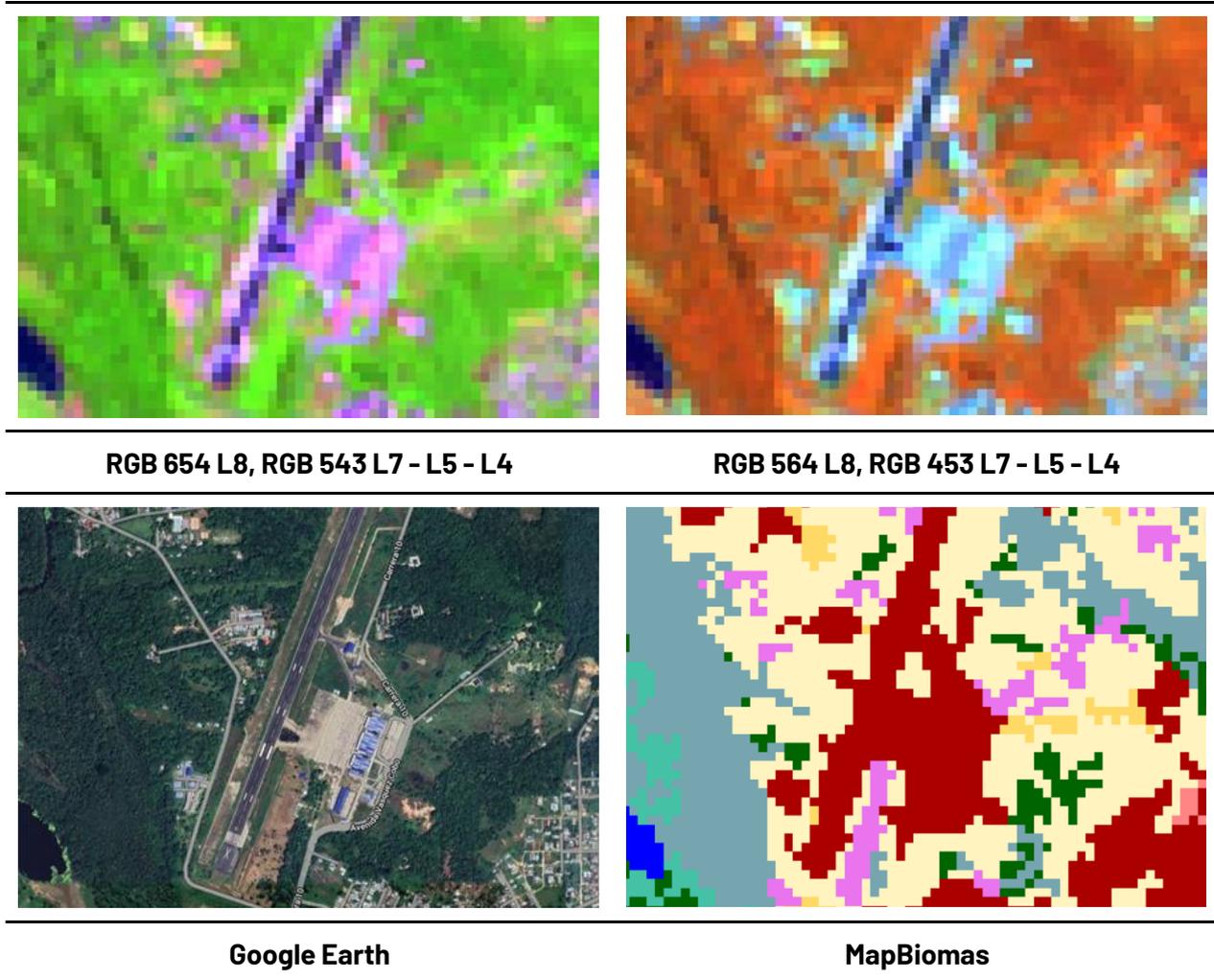


Figura 34

Respuesta Espectral de Infraestructura Urbana Amazonía.

Aeropuerto de Leticia, Amazonas, Año: 2021, Escala: 100 m, Coordenadas: -69.942571 W, -4.196483 N.

Como se observa en la **Figura 34**, en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se caracteriza por presentar color violeta brillante, del mismo modo para la combinación falso color RGB 564 Landsat 8 y 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomias esta se representa con tono rojo con código hexadecimal aa0000.

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 35** 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.

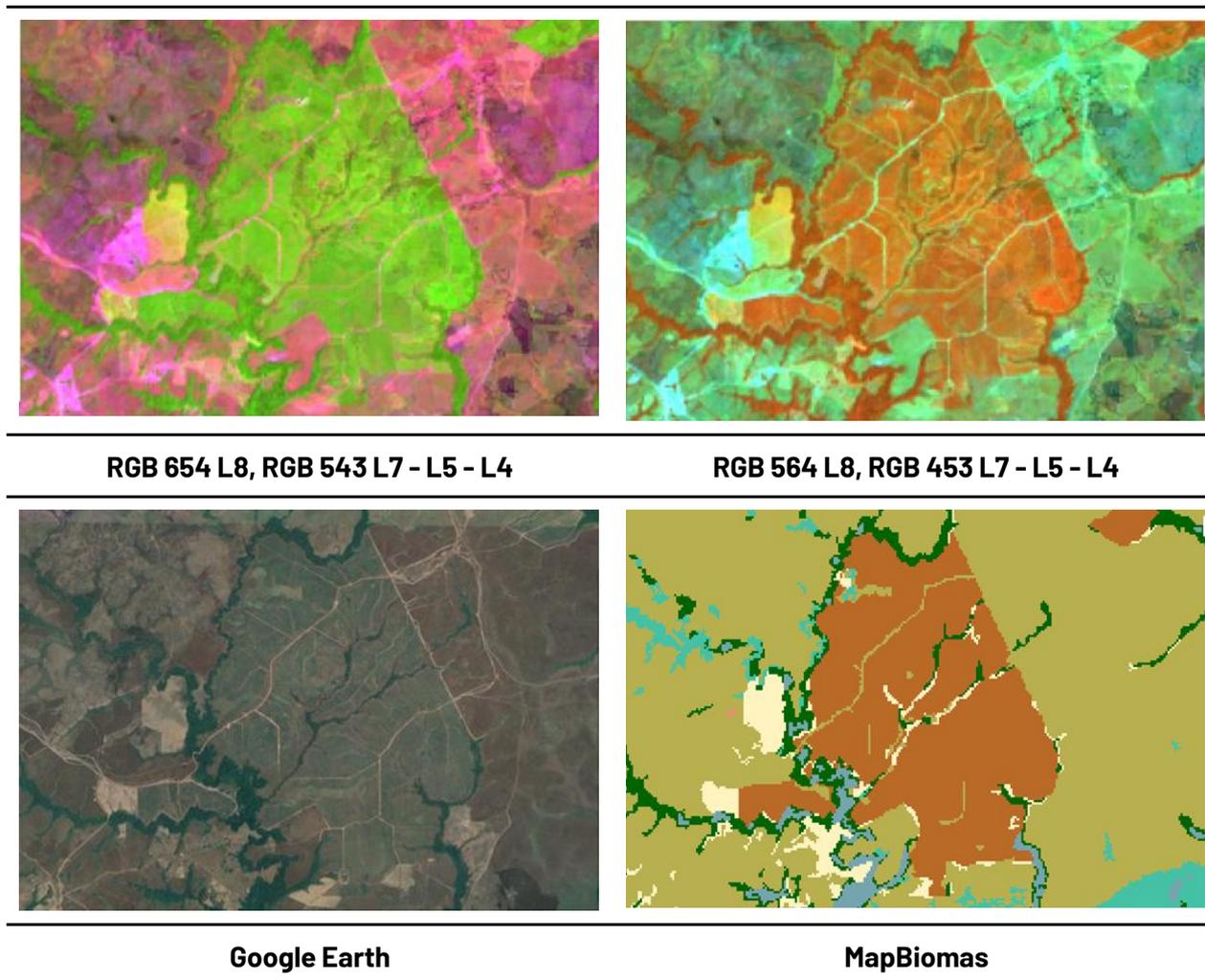


Figura 35

Respuesta Espectral Palma aceitera Amazonía.

Mapiripán, Meta, Año: 2021, Escala: 500 m, Coordenadas: -72.08995 W, 2.9255 N.

En combinación falso color 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 y en una combinación RGB 563 Landsat 8 y RGB 453 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 se observa una respuesta espectral similar al bosque, de coloración verde, 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 4 de MapBiomias esta se representa con tono café con código hexadecimal ba6a27.

Minería (ID:30)

La minería se encuentra dispersa en medio de la formación forestal (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.

Esta cobertura se puede clasificar como bosque fragmentado, la vegetación natural se observa de color verde oscuro con presencia de matices de color violeta a azulados que corresponde a, las áreas con suelos desnudos.

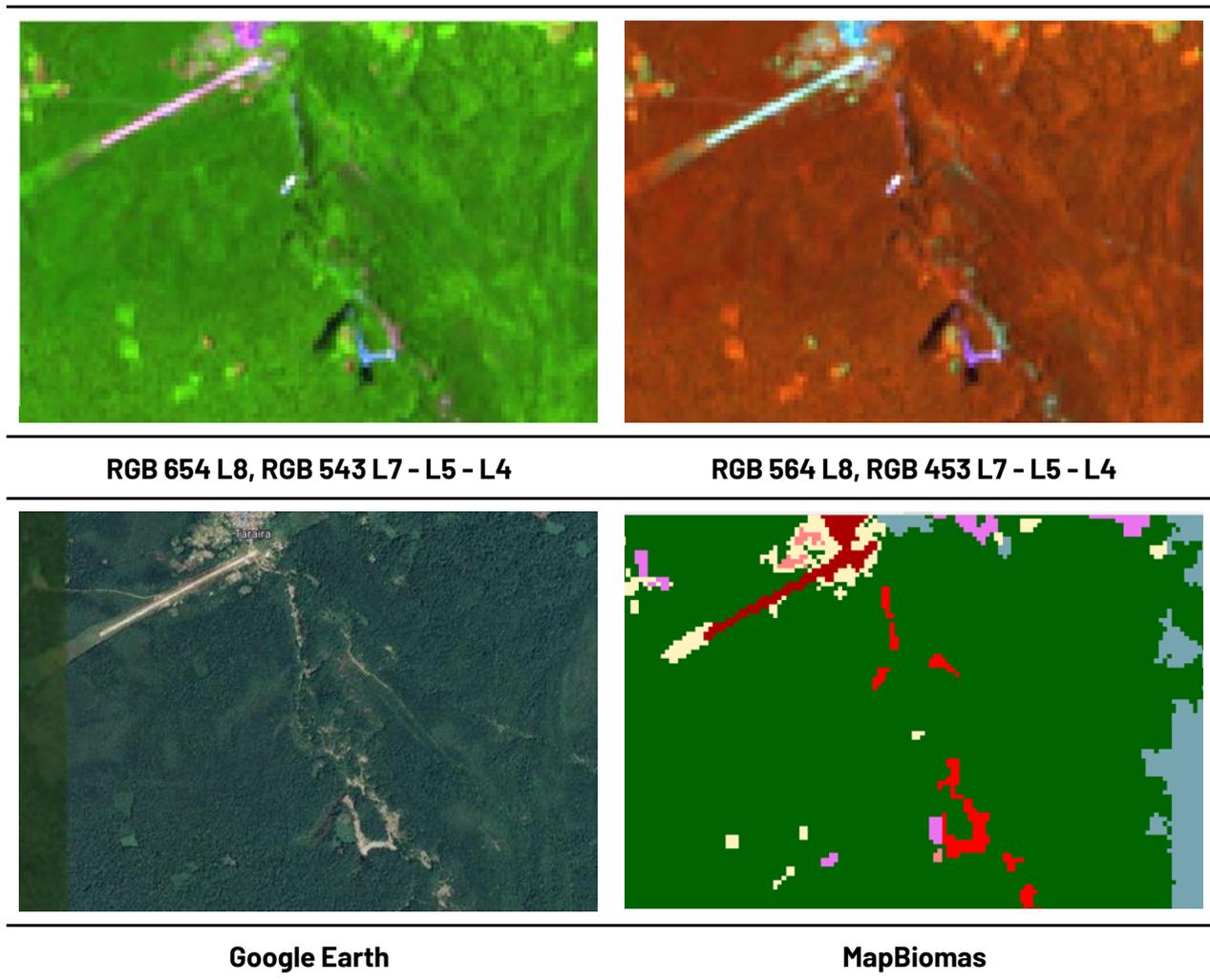


Figura 36

Respuesta Espectral Minería Amazonía.

Taraira, Vaupés, Año: 2021, Escala: 200 m, Coordenadas: -69.62944 W, -0.5752 N

Como se observa en la **Figura 36**, en combinación falso color 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4 y en una combinación RGB 564 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 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. Finalmente, en la clasificación 4 de MapBiomass esta se representa con tono rojo con código hexadecimal ff0000.

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 2021). 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 píxel. 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 cuarta colección el rango de árboles empleados por región se encuentra entre 70 y 120, 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 3 en una ventana temporal de 1985 a 2020.

Tabla 6

Número de árboles de decisión empleados por regiones de clasificación.

Clasificación preliminar		Clasificación final	
Árboles de decisión empleados por región	Número de regiones de clasificación	Árboles de decisión empleados por región	Número de regiones de clasificación
70	3	70	1
80	35	75	3
90	10	80	17
90	12	90	12
-	-	100	4
-	-	120	11
Total	48	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 4 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 una 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 con las necesidades y condiciones de cada región según el criterio de los intérpretes como se registra en la **Tabla 8.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. En el siguiente ejemplo, se puede observar que para la regla de 3 años se tiene un píxel clasificado como bosque (B) al principio de la serie temporal (2005), para el año siguiente (2006), se presenta una transición hacia la clase de agricultura o pastos (AOP), en el siguiente año (final de la serie temporal evaluada 2007) este mismo píxel vuelve a clasificarse como bosque, fenómeno poco probable en las zonas evaluadas, en este sentido, después de aplicar el filtro, éste estabiliza los cambios abruptos en la clasificación, cambiando el píxel intermedio a los clasificados por sus pares iniciales y finales. Del mismo modo, este se aplica para series temporales de 3, 4 y 5 años como se muestra en la **Figura 37**. Es importante aclarar que para los años de inicio y fin del periodo analizado en este caso 1985 y 2021, no se aplica la regla de año intermedio debido a que no existen años para comparar.

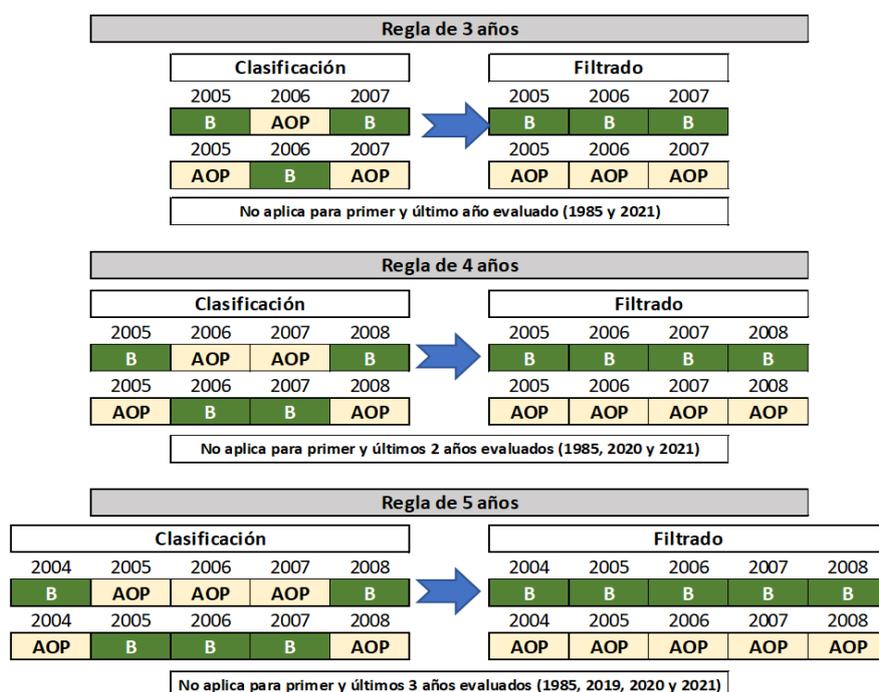


Figura 37
Filtro Temporal.

2.6.4.1.2. Primer año y último año

La regla de primer año corrige inconsistencias de la serie temporal debido a falta de información. El ejemplo siguiente muestra una transición de áreas de agricultura o pastos (AOP) a bosque (B) en el periodo de un año, fenómeno poco probable en las zonas evaluadas.

La regla de último año corrige el píxel mal clasificado al final de la serie temporal por cambios abruptos como el mencionado anteriormente, en la **Figura 38**, se observa como el filtro actúa con el píxel clasificado al final de la serie temporal como bosque (B) y después de ejecutado el filtro, este es reclasificado homogeneizando la serie.

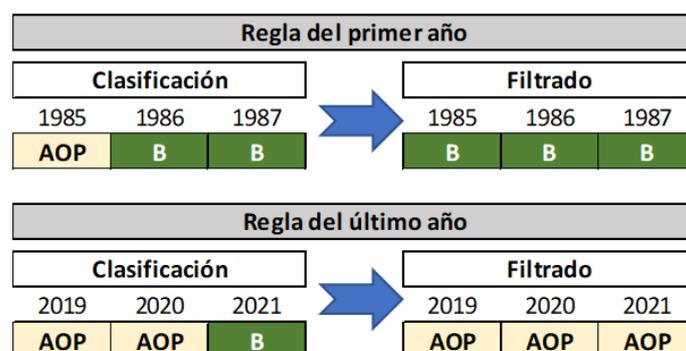


Figura 38
Filtro Temporal Regla de Primer y Último Año.

En el filtro se puede configurar y adicionar las clases que sean necesarias para corregir con el mismo, 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 (B) a agricultura o pastos (AOP). 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.

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; 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 39**, en la imagen de entrada se clasifican 3 píxeles aislados como mosaico de agricultura y/o pasto, estos al pasar por el filtro espacial y generar una diferencia de valor con los grupos de píxeles son sustituidos por la clase predominante que los rodea, generando en la imagen de salida píxeles de bosque.

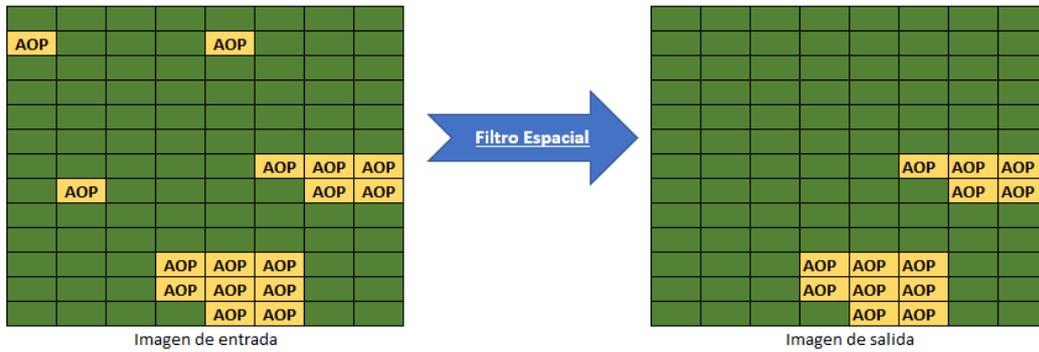


Figura 39
Filtro Espacial.

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 40**.

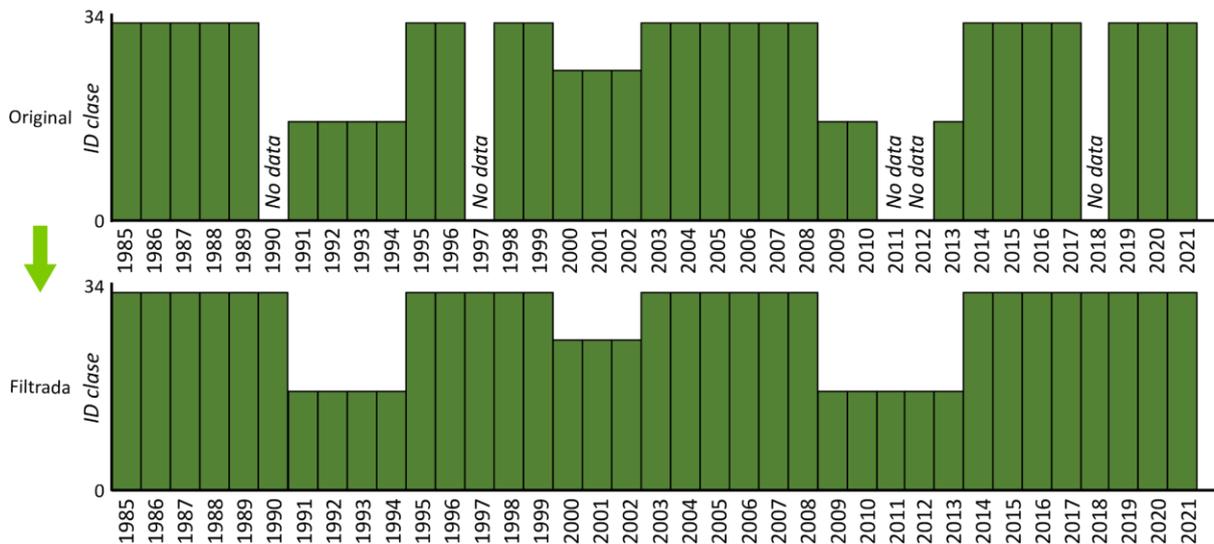


Figura 40
Filtro de Relleno de Vacíos (Gap Fill).

En la anterior figura se explica el proceso que se hace píxel a píxel 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 rellenos con la información de los años anteriores.

Cabe destacar que, aunque este filtro ayuda a estabilizar en cierta medida los vacíos de información que 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

Para el caso de la Amazonía colombiana, este filtro solo se aplicó en la serie de 37 años, a las clases formación forestal, bosque inundable, formación natural no forestal, formación campestre, otra formación no forestal, agricultura, pastos, mosaico de agricultura y/o pasto, infraestructura urbana, minería y río lago u océano, ID 3, 6, 11, 12, 13, 15, 18, 21, 24, 25 y 33 respectivamente. 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 41** ejemplifica el resultado de la aplicación del filtro de frecuencias.

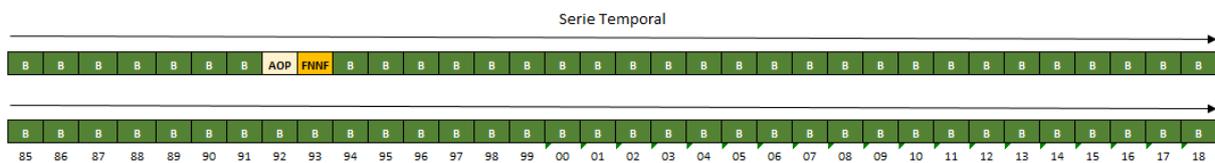


Figura 41
Filtro de Frecuencias.

Para la colección 4, de las 48 regiones que conforman la Amazonía colombiana se aplicó el filtro de frecuencia en 27 regiones distribuidas por biomas como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7
Implementación del filtro de frecuencias.

Bioma	Región	No. Aplicaciones	Porcentaje Vegetación Nativa	Porcentaje Clase Mayoritaria	Clases Incluidas	Clases Excluidas
Andes	30101	1	80	70	3,13,33	--
	30102	1	90	90	3	--
	30103	3	80	70	3,13,33	--
			80	70	3,13,33	--
			95	95	3	--
	30105	1	80	80	3,12,13	--
	30106	1	85	75	3,13,33	--

	30107	1	95	80	3,13,21,33	--
	30108	1	10	60	3,13	--
	30201	2	60	70	3,25,33	--
			50	80	13,33	--
	30203	1	80	70	3,12,33	--
	30206	1	70	50	3,33	--
	30209	1	80	70	3,33	--
	30212	1	80	70	3,12,33	--
	30213	1	50	30	3,33	21,25
	30214	1	70	50	3	--
	30219	1	80	20	3,12,13,33	--
	30220	1	100	100	3,12,33	--
Amazonía	30222	1	60	50	3,33	13
	30223	1	80	50	3,13,33	--
	30225	1	80	75	3,33	21,25
	30228	1	95	80	13,21,33	--
	30230	1	35	75	3,33	13,21,25
	30231	1	80	70	3,33	--
	30232	1	90	70	3,13,33	--
	30233	1	95	80	3,13,33	--
	30234	1	80	50	12,33	13,21,25
	30236	1	90	80	3,21	--
	30239	1	90	80	3,21	--

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 8**. Donde FT corresponde a filtro temporal, GP gap fill, FE filtro espacial y FF filtro de frecuencia.

Tabla 8
Aplicación jerárquica de filtros post clasificación

Bioma	Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Andes	30101	FT	GP	FE	FT	FF	FE			
	30102	FT	GP	FT	FE	FF				
	30103	FT	GP	FE	FT	FE	FF	FF	FE	FF
	30104	FT	GP	FT	FE					
	30105	FT	GP	FT	FE	FF				
	30106	FT	GP	FE	FF	FT	FE			
	30107	FT	FE	GP	FT	FT	FF	FE	FE	
	30108	FT	GP	FE	FF					
Amazonía	30201	FE	FE	FF	GP	FF	FT	FE		
	30202	FT	GP	FE						
	30203	GP	FT	FF	FE					
	30204	FT	FT	GP	FT	FE				
	30205	FT	FE	GP	FT	FE	FE			
	30206	FT	FE	GP	FT	FE	FF	FF	FE	
	30207	FT	GP	FT	FE	FT	FE	FE	FE	
	30208	FE	FE	GP	FT					
	30209	FT	GP	FE	FT	FE	FF	FE		
	30210	FT	GP	FE	FT	FE				
	30211	FT	GP	FE	FT					
	30212	FT	GP	FE	FT	FF	FF			
	30213	FT	FE	GP	FT	FF	FE			
	30214	FT	FT	GP	FE	FF				
	30215	FT	GP	FT	FE	FF				
	30216	FT	GP	FT	FE					
	30217	GP	FT	FE						

	30218	FT	GP	FE				
	30219	FT	GP	FT	FE	FF	FE	
	30220	FT	GP	FT	FE	FF	FE	
	30221	GP	FT	FE	FF	FE		
	30222	FT	GP	FT	FE	FF		
	30223	FE	FF	GP	FT			
	30224	FT	GP	FE	FT	FE		
	30225	FE	FT	FE	FT	FE	FE	FF
	30226	GP	FT	FE	FF			
	30227	GP	FT	FE	FF	FE		
	30228	FT	GP	FT	FE	FF	FE	FE
	30229	GP	FT	FE	FF			
	30230	FF	FT	FT	FE	GP	FE	FE
Amazonía	30231	FE	FF	GP	FE	FT	FE	
	30232	FT	GP	FF	FE			
	30233	FT	GP	FE	FT	FF	FE	
	30234	FT	FE	GP	FF	FT	FE	
	30235	FT	GP	FT	FE	FF		
	30236	FT	GP	FT	FE	FF		
	30237	FT	GP	FE	FT	FE		
	30238	FT	GP	FT	FE	FF		
	30239	FT	GP	FT	FE	FF	FE	
	30240	FT	GP	FT	FE	FF		

2.6.4.5. 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 37

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 9**.

Tabla 9
Jerarquías para integración.

Colección 4	ID	Capa	Prevalencia ID Colombia		
			General	Regiones: 30212, 30203, 30217, 30228, 30220,30224	Regiones: 30207, 30236,30234,30237
Minería	30	Transversal	1	1	1
Infraestructura Urbana	24	Transversal	2	2	2
Agua	33	General	3	3	3
Palma aceitera	35	Transversal	4	4	4
Agricultura	18	Transversal	5	5	5
Pastos	15	Transversal	6	6	6
Mosaico de agricultura y/o pasto	21	General	7	7	7
FNNF inundable	11	Transversal	8	9	9
Otra área sin vegetación	25	General	9	8	8
Formación campestre	12	General	10	12	10
Otra FNNF*	13	General	11	10	11
Bosque inundable	6	Transversal	12	11	12
Bosque	3	General	13	13	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 otras áreas sin vegetación (25) está por encima de FNNF inundable (11); para la primera excepción la clase otra FNNF (13) queda priorizada sobre las clases bosque inundable (6), formación campestre (12) y bosque (3); mientras que para la segunda excepción la clase de formación campestre (12) queda priorizada sobre las clases de otra FNNF (13), bosque inundable (6) y bosque (3). 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, pastos, minería, bosques inundables, y formación natural no forestal inundable. (Ver detalles en los ATBD de cada tema). Finalmente, en la **Figura 42** se observa el multitemporal de la integración final con las clases generales y transversales de la colección 4 MapBiomomas de la Amazonía colombiana.

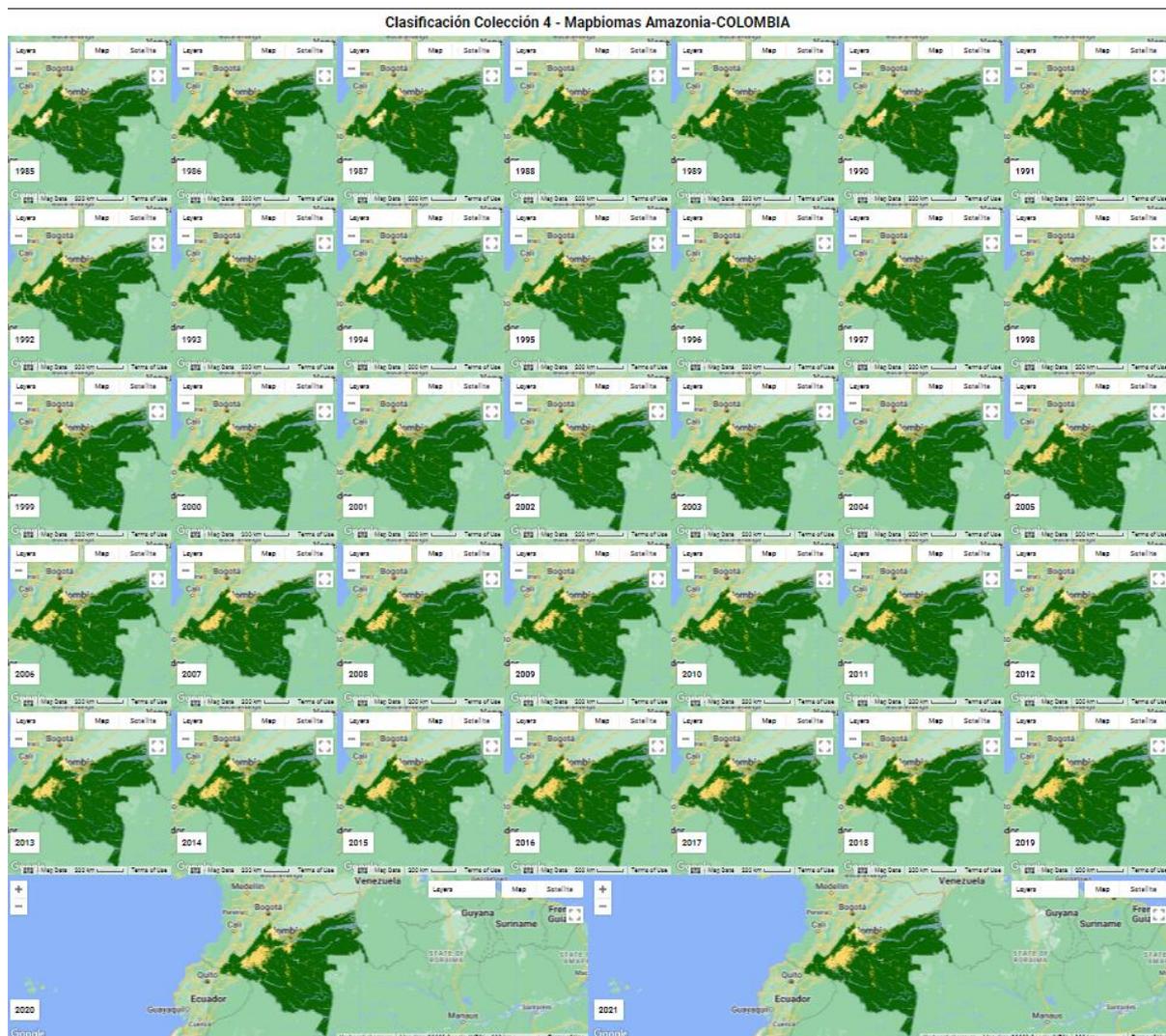


Figura 42
Integración de la clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 4.0.

3. Referencias

- Castaño-Urbe, 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>
- Cuatrecasas, J. (1943). Estudios sobre plantas andinas, - V. 8, 209-240.
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. https://www.accefyn.com/revista/Volumen_10/40/221-264.pdf
- 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>
- Gaia Amazonas. (2021). Algorithm Theoretical Basis Document—ATBD. Apéndice—Colombia. Colección 3.0 (Memoria Técnica N.o 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., & Siegmund, 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_biológica_iberoamerica.pdf

Holdridge, L. R. (1964). Life Zone Ecology. Tropical Science Center.

<https://books.google.com.co/books?id=BIFgAAAAMAAJ>

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, 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 Ráster].

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 [Memoria Técnica]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam. [https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.36118762695527,-2.2431271708102756,-](https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.36118762695527,-2.2431271708102756,-64.53013293945975,12.036885836214465,4686&b=igac&u=0&t=43&servicio=881)

[64.53013293945975,12.036885836214465,4686&b=igac&u=0&t=43&servicio=881](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 Límitrofes 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 Amazonía colombiana 2006 (p. 31). García, U. G. M., Vanegas, G. I. C., Alonso, J. C., Cardona, C. Al Instituto 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/amsppn_mt_01_-monitoreo-de-coberturas-de-la-tierra-en-ap-de-pnn_v_5-ajustad27082021.pdf

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>

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-](https://doi.org/10.1016/0031-3203(95)00085-2)

[3203\(95\)00085-2](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 casual y global. Omega. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=79215>.