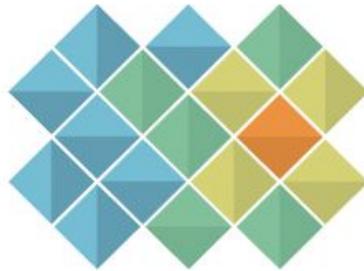


RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA

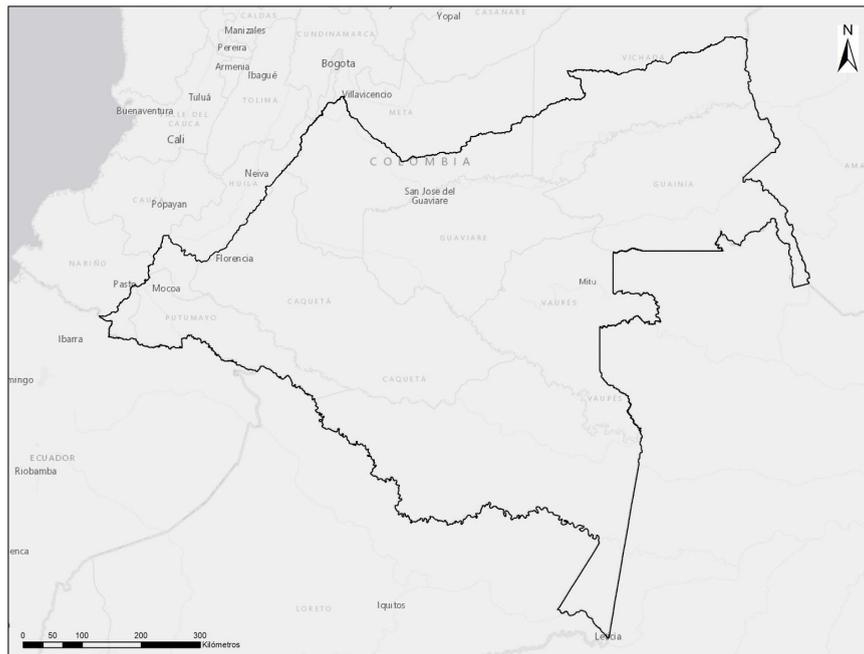


MAPBIOMAS [AMAZONIA]

Colombia - Apéndice

Colección 2

Versión 1.0



Marzo de 2020

Equipo de Especialistas

Andres Llanos
Karen Huertas
Andrea Diaz

Responsables del proyecto de MapBiomass en la Amazonía colombiana

Adriana Rojas y Andrés Llanos

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>

CONTENIDO

1. Introducción	4
2. Características generales del país	5
2.1. Breve contexto de la Amazonía Colombiana	5
2.2. Otras iniciativas nacionales de mapeo	6
3. Mosaicos Landsat	8
3.1. Regiones de mosaicos	8
3.2. Generación de los mosaicos Landsat	11
3.3. Evaluación de calidad de los mosaicos	15
4. Clasificación	18
4.1. Descripción metodológica	18
4.2. Regiones de clasificación	19
4.3. Leyenda	22
4.3.1 Leyenda Amazonía Baja	22
4.3.2. Leyenda Amazonía Alta	29
4.4. Integración de la clasificación	33
5. Pos-clasificación	35
5.1. Filtro Temporal	35
5.2. Filtro Espacial	36
5.3. Gap Fill (Relleno de vacíos)	37
5.4. Filtro de Frecuencias	38
5.5. Filtro de Incidentes	38
6. Reclasificación	39
7. Referencias	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de calidad de mosaicos	
17	
Tabla 2. Clases mapeadas por regiones de clasificación en la Amazonía colombiana	
22	
Tabla 3. Leyenda aplicada para la Amazonía colombiana	
23	
Tabla 4. Reclasificación	
41	

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de Bosque y No Bosque IDEAM	7
Figura 2: Mapa de Coberturas de la Tierra SINCHI 2012-2014	8
Figura 3. Regiones operativas de mosaico Amazonía colombiana	
9	
Figura 4. Biomás en la Amazonía colombiana	11
Figura 5. Cartas que cubren la región de la Amazonía colombiana	12
Figura 6. Pixel de mediana	13
Figura 7. Mosaicos generados para la región de Amazonía Baja	14
Figura 8. Mosaicos generados para la región de Amazonía Alta	
15	
Figura 9. Calidad de mosaicos	
16	
Figura 10. Calidad de los mosaicos entre 1985 y 2018	
17	
Figura 11. Flujo de clasificación MapBiomás Amazonía Colección 2	
19	
Figura 12. Regiones de clasificación Amazonía colombiana	
20	
Figura 13. Firma espectral Formación Forestal Amazonía Baja	
23	
Figura 14. Firma espectral Formación campestre Amazonía Baja	
24	
Figura 15. Firma espectral otro tipo de formación natural no forestal Amazonía Baja	
25	
Figura 16. Firma espectral mosaico de agricultura o pasto Amazonía Baja	
26	
Figura 17. Firma espectral áreas sin vegetación Amazonía Baja	
28	
Figura 18. Firma espectral río, lago u océano Amazonía Baja	
28	
Figura 19. Firma espectral Formación Forestal Amazonía Alta	
29	

Figura 20. Firma espectral otro tipo de formación natural no forestal Amazonía Alta	30
Figura 21. Firma espectral mosaico de agricultura o pasto Amazonía Alta	31
Figura 22. Firma espectral áreas sin vegetación Amazonía Alta	32
Figura 23. Firma espectral río, lago u océano Amazonía Alta	33
Figura 24. Clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 2	34
Figura 25. Filtro temporal	36
Figura 26. Filtro temporal regla de primer y último año	36
Figura 27. Filtro espacial	37
Figura 28. GapFill	38
Figura 29. Filtro de Frecuencias	38

1. Introducción

Establecida en 2007, la Red Amazónica de Información socioambiental georreferenciada (RAISG) es una red de organizaciones de la sociedad civil de Países amazónicos con amplia experiencia de trabajo en el Amazonas y sus comunidades indígenas. RAISG busca construir una visión integral de la Amazonía que vincule los derechos de los pueblos indígenas con la valoración y protección de la biodiversidad, que consideramos necesario para consolidar áreas protegidas y avanzar en términos de prácticas de uso sostenible del bosque y sus recursos.

En 2017, RAISG se asoció con la iniciativa MapBiomias Brasil, creando MapBiomias Amazonía, un proyecto centrado en el mapeo de la cobertura del suelo y el cambio de uso del suelo en la región amazónica de los nueve países. El mapeo se rige por un protocolo común y utiliza imágenes de satélite Landsat y secuencias de comandos que se ejecutan en Google Earth Engine. La colección MapBiomias Amazon 1.0, fue lanzada en marzo de 2019 e incluyó mapas anuales de cobertura y uso del suelo para los años 2000 a 2017, y contiene datos novedosos que indican que la región ya ha perdido 29.5 millones de hectáreas de bosque al 2017, pero mantiene el 85% de su vegetación nativa.

Como representante en RAISG por Colombia, La Fundación Gaia Amazonas trabaja desde 1990 con las comunidades y organizaciones indígenas para el ejercicio de sus derechos y para la conservación del bosque amazónico. Como parte de la generación de conocimiento que propone el trabajo en la Red, Gaia Amazonas presenta este documento como síntesis para Colombia del trabajo de interpretación de coberturas de la tierra como fruto de la alianza entre RAISG y el proyecto MapBiomias para la generación de la segunda serie anualizada desde 1985 a 2018 de monitoreo de las coberturas de la tierra para la Amazonia.

Este documento se divide en cuatro partes que componen el método de interpretación basado en imágenes satelitales LANDSAT. El primero de ellos es la elaboración de mosaicos, luego la clasificación, pos-clasificación y por último la reclasificación.

- La generación de mosaicos es un paso fundamental y es a partir de allí que se obtiene información para la interpretación de los mapas anuales.
- La **clasificación** es el proceso que utiliza un método automático que utiliza el algoritmo de random forest o árboles aleatorios, el cual se encuentra dentro del paradigma de la inteligencia artificial y el machine learning y es a partir de este que se definen las clases mapeadas en cada uno de los mosaicos.

- La **pos-clasificación** comprende un proceso de análisis del intérprete basado en una serie de filtros espaciales y temporales que permiten eliminar ruidos y errores sistemáticos generados por el proceso automático y,
- el proceso de **reclasificación** remueve aquellos errores que quedaron luego de aplicar los filtros automáticos, para ello se identificaron áreas con problemas y se generaron polígonos de reclasificación.

En los siguientes apartes de este documento se describen cada uno de estos pasos en detalle 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 colombiana se encuentra al noroccidente del bioma amazónico, cubre una extensión de 50,5 millones de hectáreas que representan el 6% del total del bioma Amazónico y el 43.3% del territorio continental colombiano, donde se concentra el 66% de los bosques naturales del país. La región puede ser subdividida en tres grandes regiones debido principalmente a su topografía; hacia el occidente la zona más alta y quebrada teniendo como altura máxima los 3600 msnm en el páramo de Sumapaz, esta región se caracteriza por tener pendientes de altas a moderadas, una alta dificultad de acceso y contener las cuencas altas de los grandes ríos Amazónicos. Contigua a ésta, una región conocida como piedemonte que se caracteriza por tener unas pendientes de moderadas a bajas 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 encuentran los mayores remanentes de bosque natural y las culturas indígenas más ancestrales de Colombia.

La Amazonía colombiana se encuentra organizada político administrativamente en seis departamentos: Amazonas, Caquetá, Putumayo, Vaupés, Guainía, Guaviare y parte de cuatro: Meta, Nariño, Cauca y Vichada. Estos departamentos se encuentran en su mayoría (el 81%) subdivididos en 60 municipios, y parte de los departamentos de Amazonas, Vaupés y Guainía (aprox. 18 millones de ha) aún se encuentran sin decisión político administrativa local; para estas áreas, actualmente y a partir del 2018 los Territorios indígenas están en proceso de ser reconocidos como organización político administrativa del Estado bajo el gobierno de consejos indígenas.

Respecto de las políticas de conservación del ambiente, la región amazónica concentra el 22.3% de las Áreas protegidas del país representadas por 22 áreas en

tres categorías (Parque Nacional, Reserva Nacional y Reserva forestal protectora), dentro de las cuales se destacan el parque Nacional de mayor extensión: PNN Serranía de Chiribiquete con más de 8 millones de hectáreas, el Parque Nacional -Resguardo Apaporis que representa un modelo de manejo innovador intercultural y, los PNN Río Puré y RNN Nukak que protegen etnias indígenas en aislamiento voluntario o contacto inicial.

La Amazonía colombiana también se destaca por tener el 54% de su territorio en Resguardos indígenas como figura para el reconocimiento de derechos territoriales a los pueblos indígenas y por ser la región culturalmente más diversa y conservada de Colombia, siendo habitado por al menos 53 pueblos que representan el 78% de las lenguas indígenas de Colombia.

2.2. Otras iniciativas nacionales de mapeo

Dentro de las iniciativas de mapeo de la deforestación y coberturas de la tierra en Colombia se destacan dos, la cuales sirvieron como referencia para el mapeo que se describe en este documento para el proyecto MapBiomás Amazonia, una de ellas desarrollada por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM- y la otra por el Instituto Amazónico de Investigaciones científicas -SINCHI-.

El IDEAM mapea la pérdida de bosque en la Amazonía colombiana y según este sistema se tuvo un incremento acelerado entre 2016 y el 2017 y conservó su magnitud en el 2018, teniendo en promedio una pérdida entre 2017 y 2018 de 141 mil hectáreas (ver figura 1), esto representa el 70% de la deforestación a nivel nacional y se concentra en al menos tres focos en los departamentos de Guaviare, Meta y Caquetá.

2014 (ver figura 2), 2014- 2016 y en la actualidad se encuentra en interpretación 2016-2018.

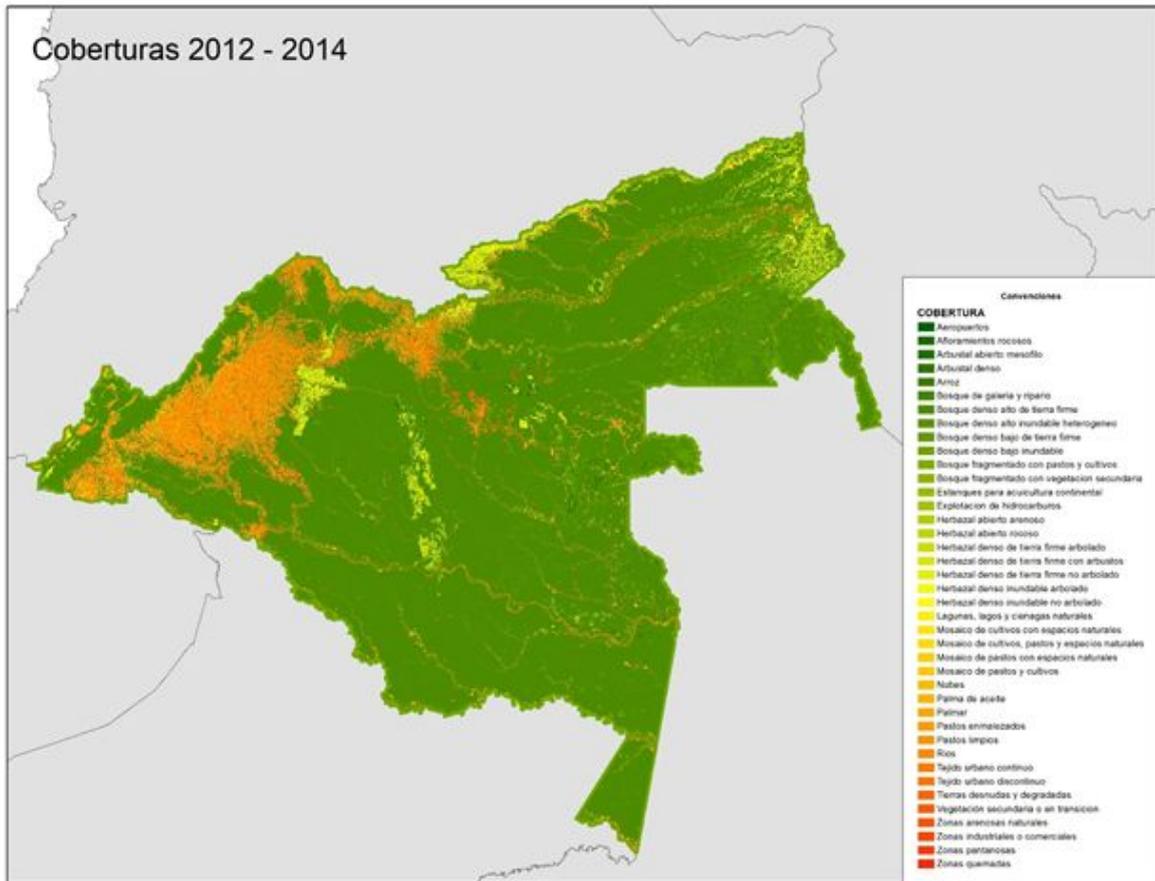


Figura 2. Mapa de Coberturas de la Tierra SINCHI 2012-2014

Para la construcción del ejercicio de monitoreo que se presenta en este documento, fueron usadas las coberturas de tierra generadas por el Instituto SINCHI para el 2012-2014 y el mapa general de ecosistemas del País.

3. Mosaicos Landsat

3.1. Regiones de mosaicos

Las regiones de mosaico tienen por objetivo dividir la Amazonía colombiana en áreas que permitan obtener la mejor calidad de los mosaicos de imágenes satelitales pensando en las diferentes zonas fisiográficas y características climáticas predominantes. Como se puede ver en la siguiente figura, para Colombia la Amazonía se subdividió en la región baja y la región alta, esta división corresponde en principio a las diferencias en la cobertura de nubes y al gradiente altitudinal entre la región de piedemonte y la planicie amazónica.

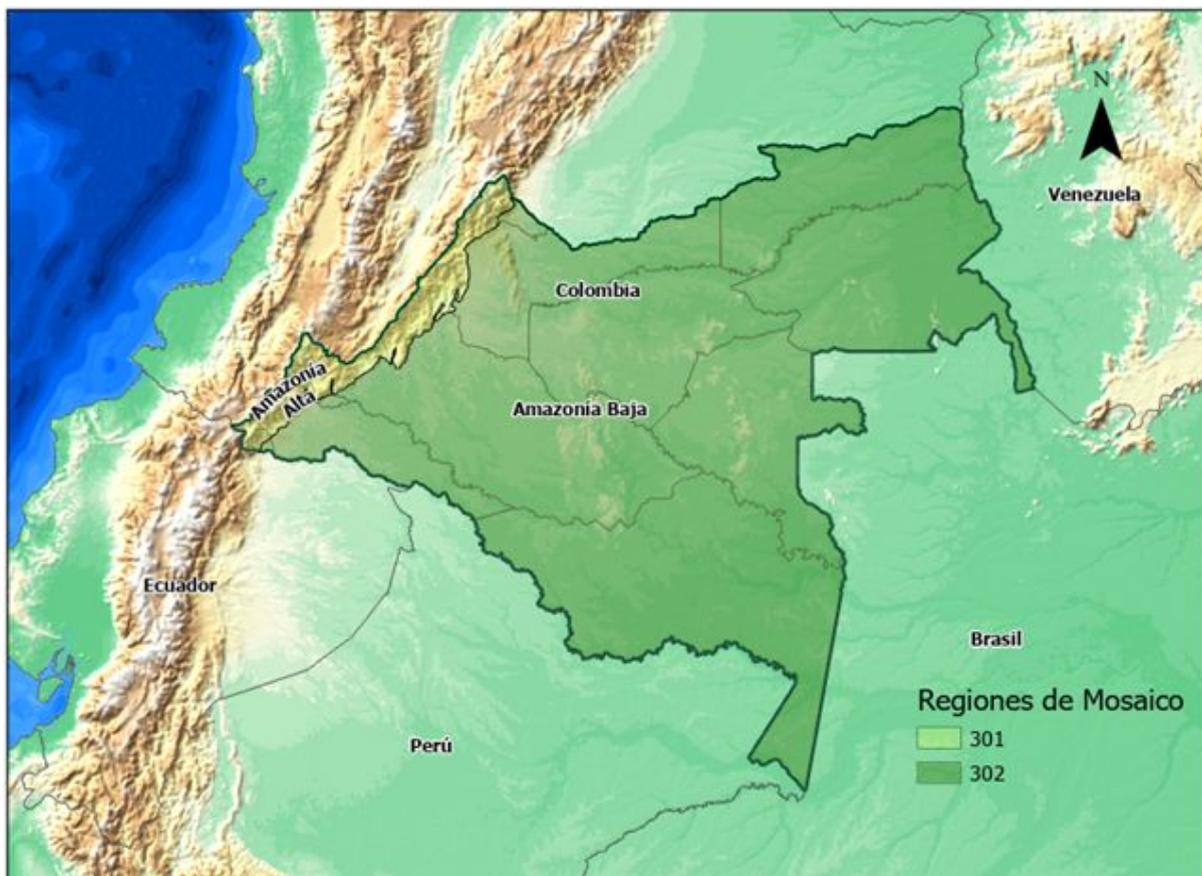


Figura 3. Regiones operativas de mosaico Amazonía colombiana

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, las regiones operativas de generación de mosaicos son identificadas en base a criterios biogeográficos descritos a continuación:

Región de mosaicos Amazonía alta

Región definida por la presencia de montañas que cambian el régimen hídrico y forman cinturones o fajas de vegetación de acuerdo con su incremento en altitud y la respectiva disminución de la temperatura (Walter, 1977). Según el rango altitudinal se incluyen zonas de baja montaña, zona de media montaña y zona de alta montaña. Incluye:

Orobiomas altos: Se localizan por encima del límite superior del piso andino (> 2.800 msnm) hasta el nivel de las nieves perpetuas (> 4.500 m). Dentro del orobioma alto, se distinguen a la vez cinco franjas bien definidas. Bosques de alta montaña, Subpáramo, Páramo propiamente dicho y Superpáramo o páramo alto.

Orobiomas medios: Hacen referencia a zonas de montaña localizadas aproximadamente entre los 1.800 y 2.800 msnm, donde se presentan temperaturas que fluctúan entre los 12 y 18° C, también conocidos en Colombia como piso

andino. Al igual que en el orobioma bajo, la altitud del orobioma medio en Colombia puede variar de acuerdo con la posición geográfica.

Orobiomas bajos: Corresponden a áreas de montaña localizadas aproximadamente entre los 500 y 1.800 msnm, donde se presentan temperaturas de entre 18 y 24 °C. No obstante, es posible que estos rangos fluctúen de acuerdo con la posición geográfica de la montaña. A los orobiomas bajos comúnmente se les asigna el nombre de piso subandino, dada su relación con la cordillera de los Andes.

Región de mosaicos Amazonía baja

Región compuesta por diferentes biomas zonales y azonales de clima cálido húmedo (63%), cálido muy húmedo (13%), templado húmedo (13%) y templado muy húmedo (12%). Incluye:

Orobioma de La Macarena: Situado en una unidad geomorfológica de 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%).

Helobiomas 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%).

Peinobiomas de la Amazonía: Formados 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%).

Zonobioma húmedo tropical de la Amazonía: 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 luviogravitacional y estructural erosional (86%) y planicies aluviales (13%), cubierto por bosques naturales (92%), pastos (6%) y herbazales (2%).

Litobiomas de la Amazonía: Contempla lugares con suelo incipiente sobre roca dura. 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, cubierto predominantemente por bosques naturales (90%) y herbazales (7%).

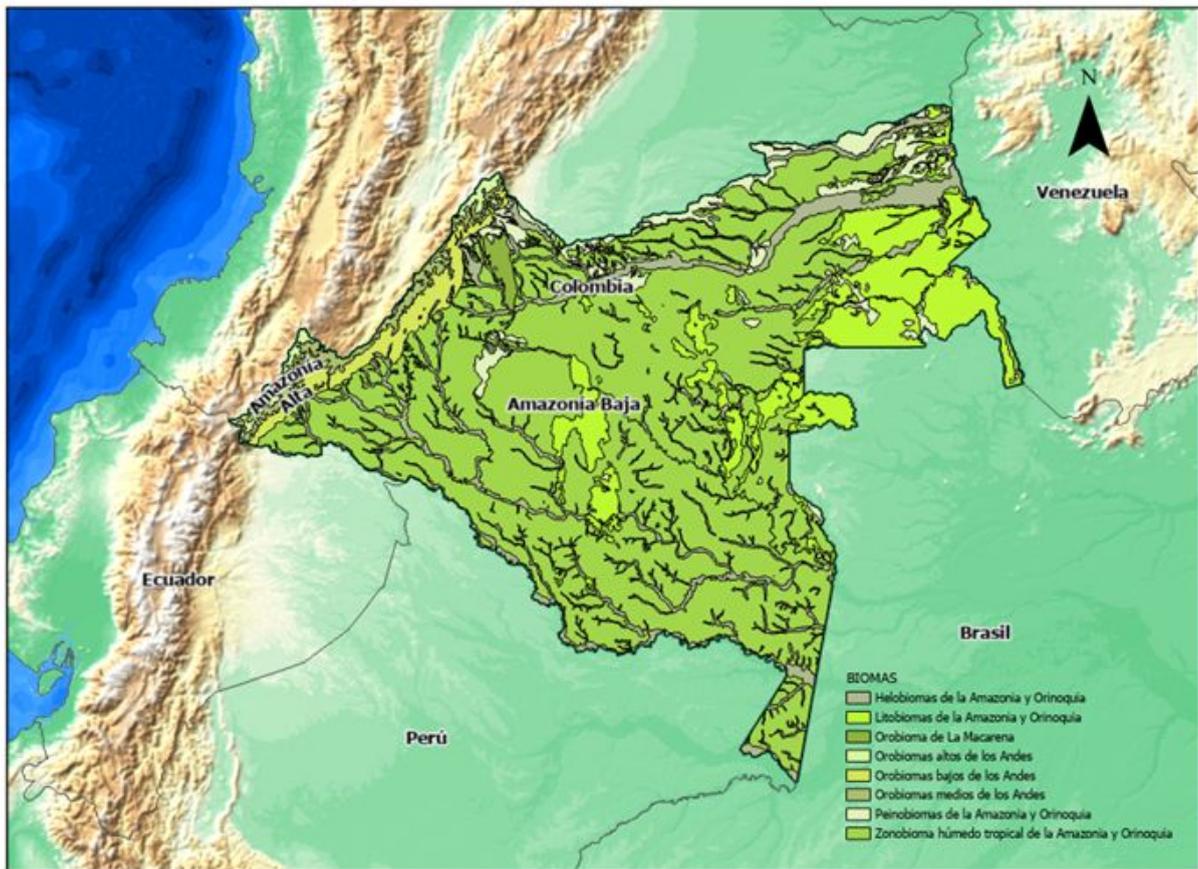


Figura 4. Biomas en la Amazonía colombiana

3.2. Generación de los mosaicos Landsat

El objetivo general de la elaboración de los mosaicos fue obtener un compilado de imágenes teniendo en cuenta la variabilidad de fechas para cada año incluyendo épocas secas y lluviosas con el fin de lograr un mejor contraste entre las clases de bosque y no bosque, además de tener imágenes con la menor cantidad de nubes para disminuir posibles efectos sobre la clasificación de coberturas para la colección 2 de MapBiomias.

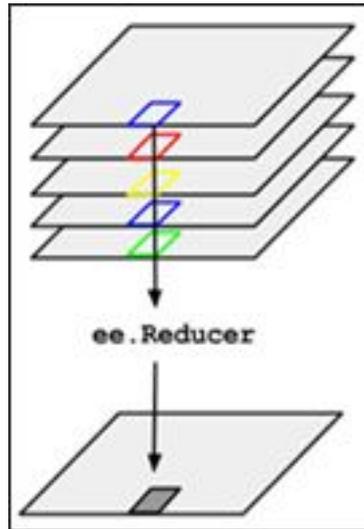


Figura 6. Pixel de mediana.

En la figura 6 se presentan los resultados de la generación de los mosaicos para la región de Amazonía Baja y como se puede observar, los años con menor cantidad de imágenes disponibles o aceptables son los periodos entre 1985 al 1987 y 1992 al 1996 principalmente hacia la zona de San José del Guaviare. En algunos casos, hay zonas que no presentan imágenes disponibles para su análisis en distintos años de la serie temporal, tal es el caso de algunas zonas del departamento del Amazonas.

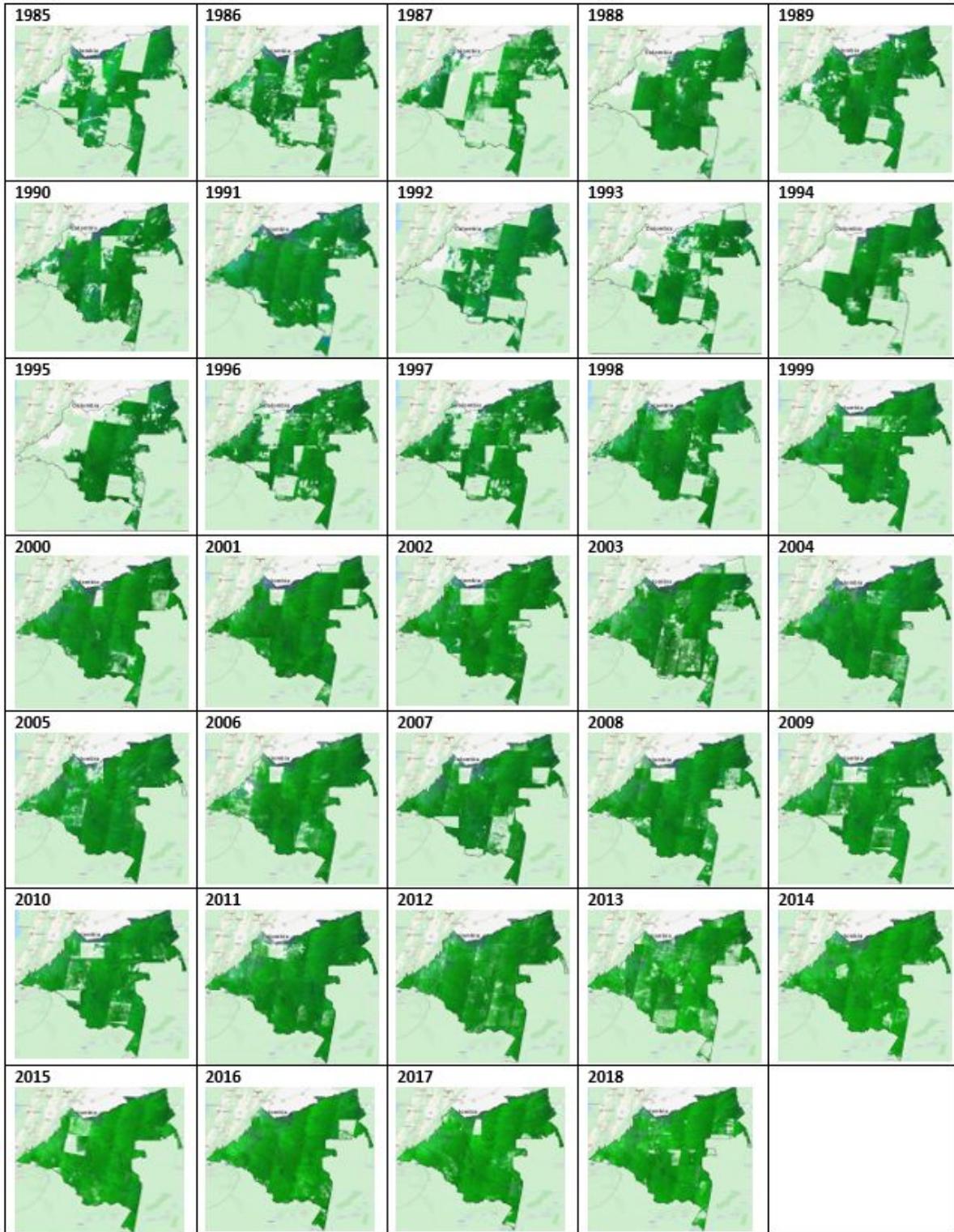


Figura 7. Mosaicos generados para la región de Amazonía Baja.

En la siguiente figura se pueden observar los mosaicos para la región de Amazonía alta. Esta zona ubicada sobre las estribaciones de la cordillera oriental presenta gran cantidad de nubes a lo largo del año, lo que dificulta la obtención de imágenes satelitales aceptables; esto se puede observar en la figura en los primeros años del

periodo de análisis. Es importante resaltar que entre los años 1992 a 1995 no se obtuvieron imágenes satelitales de la serie de landsat en ninguna de sus combinaciones.

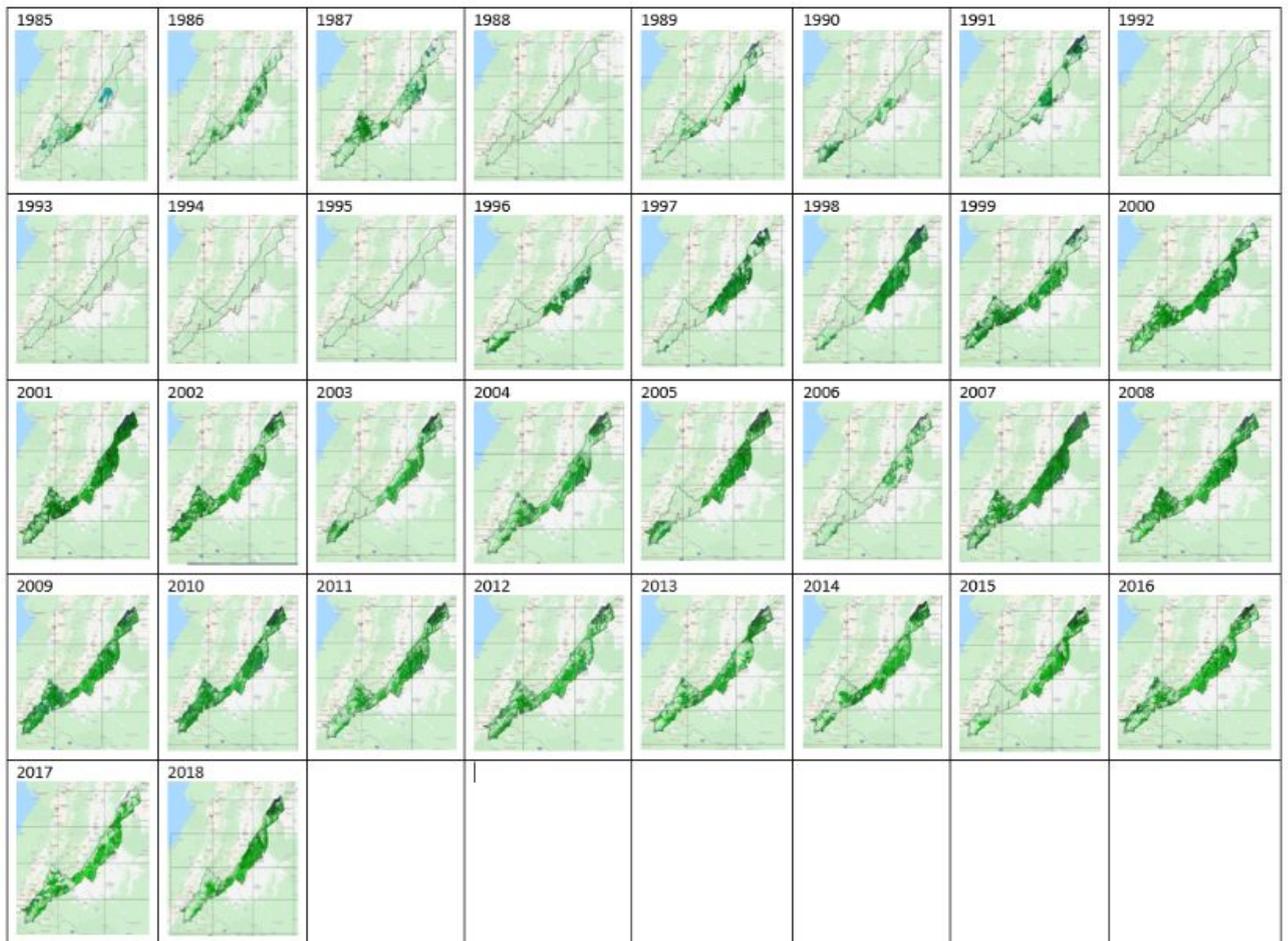


Figura 8. Mosaicos generados para la región de Amazonía Alta.

3.3. Evaluación de calidad de los mosaicos

Se realizó una evaluación visual de los mosaicos para cada año teniendo en cuenta los parámetros de selección para las imágenes, obteniendo tres categorías. Estas categorías fueron construidas con base en los criterios que se señalan en la siguiente tabla; los valores indican los umbrales por porcentaje de la superficie afectada por cada parámetro evaluado en cada carta:

Tabla 1. 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 aceptable ya que aunque no cubran un área significativa o presenta algún porcentaje de bandeo, sombras o ruido producido por las nubes, aporta información para el proceso de clasificación y sus posibles efectos pueden ser tratados por medio de los filtros utilizados.

Para la serie de 34 años se construyeron en total 1577 mosaicos, de los cuales el 45% se evaluaron como buenos, 32% como regulares y 23% como de baja calidad o malos. En general, se puede considerar que los mosaicos tienen una calidad aceptable; se resalta que para los años comprendidos entre 1985 y 2000 se presenta un mayor porcentaje de mosaicos regulares y malos. A continuación se presenta la evaluación de los mosaicos para cada año:

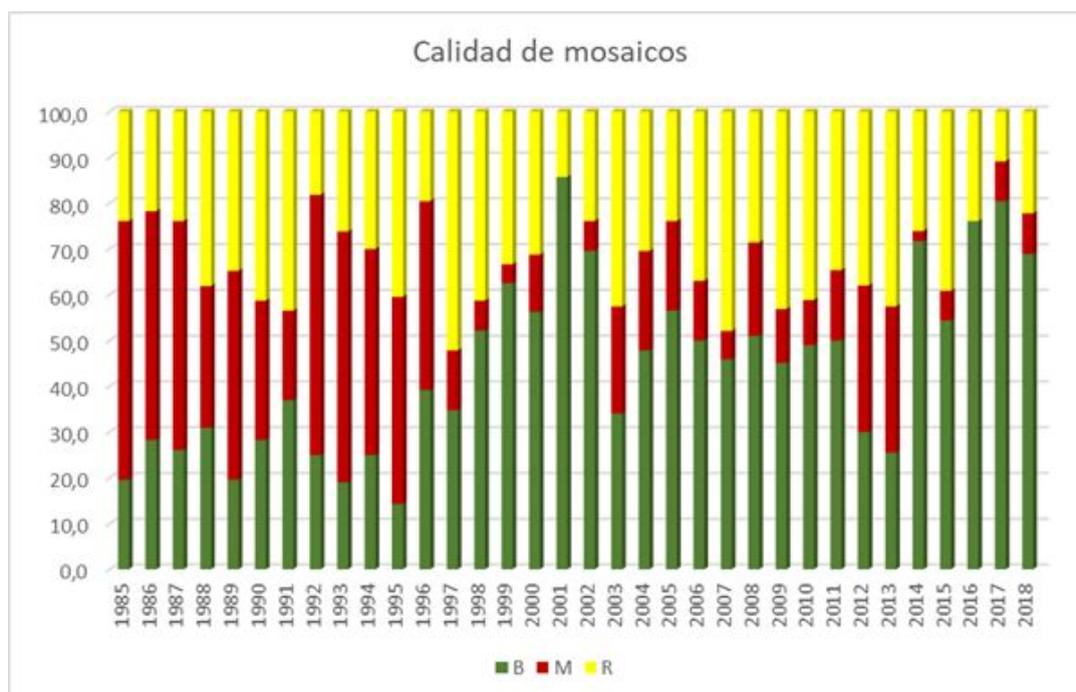


Figura 9. Calidad de mosaicos.

Con respecto a la calidad de los mosaicos por regiones de clasificación, se tiene que para la región Amazonía alta se obtuvo en mayor porcentaje de mosaicos con calidad regular (50%), calidad baja (34%) y buena calidad (16%), en contraste con Amazonía baja donde se obtuvieron mosaicos de buena calidad en un 46%, calidad regular 31% y baja calidad 23% (ver figura 8); estas diferencias en los mosaicos de

las regiones son producto de las características geográficas, especialmente el relieve y la altitud, donde se encuentran alta presencia de nubosidad y sombras.

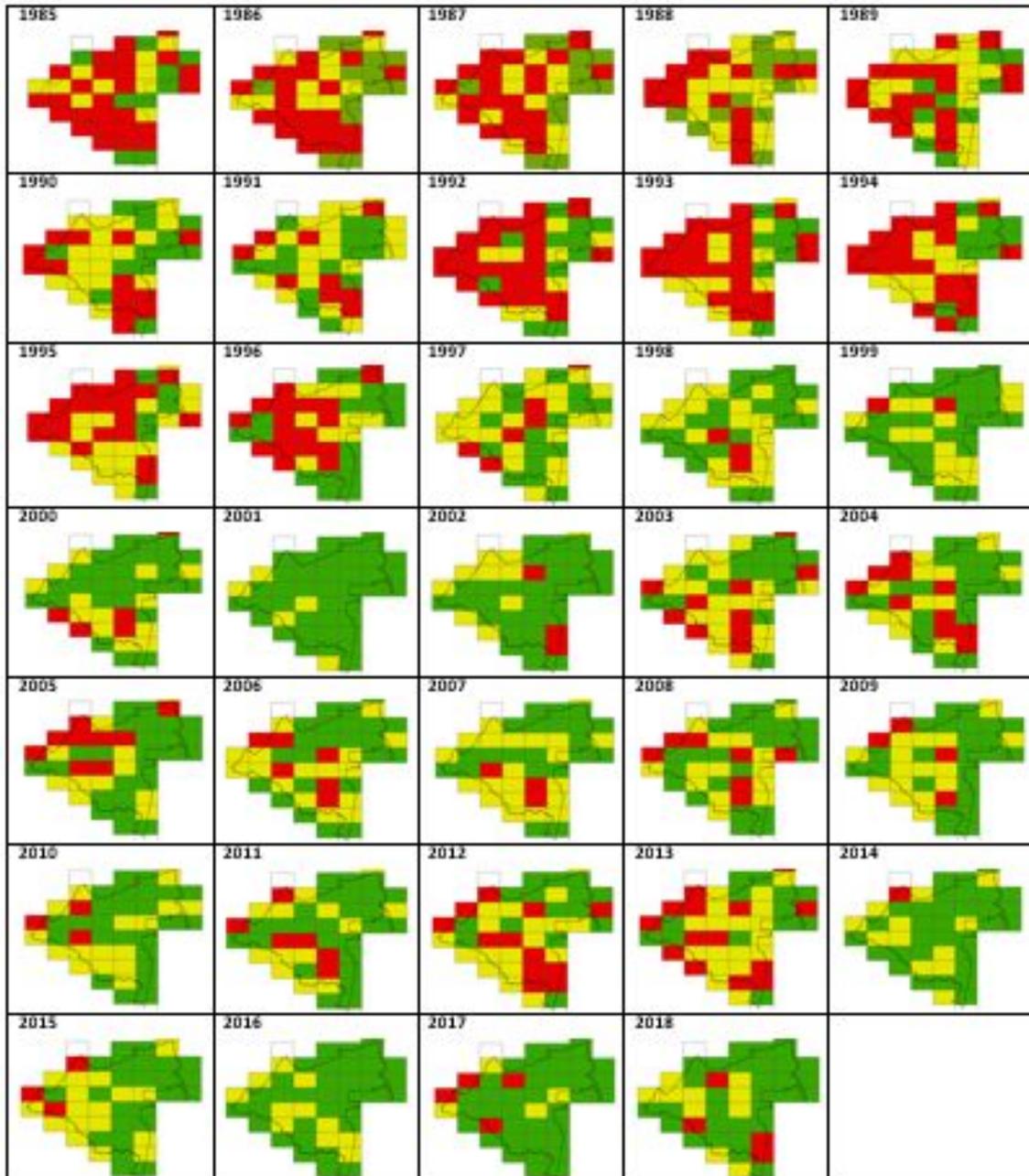


Figura 10. Calidad de los mosaicos entre 1985 y 2018.

4. Clasificación

4.1. Descripción metodológica

La discriminación de las coberturas comprende el uso del clasificador Random Forest (RF) fundamentado en algoritmos de inteligencia artificial (AI) y con ella, el aprendizaje automático (Machine Learning). En general, el procedimiento consiste en una selección aleatoria de muestras de entrenamiento con el cual se construye un árbol de decisión por cada clase a evaluar; este proceso toma como base el entrenamiento original de los árboles de decisión empleados en la Colección 1 de MapBiomias con ventana temporal de 2000 a 2017 (Apéndice Colección 1: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas/Amazonia/ATBDs/Apendice%20Colombia.pdf>).

En esencia, Random Forest (RF) realiza una selección aleatoria de puntos asociados a las muestras de entrenamiento que responden a la clasificación de píxeles conforme a índices de vegetación y suelos con los cuales i) se determina la mejor división en cada nodo para construir el mejor árbol de decisión que permita clasificar de manera óptima toda una serie de imágenes y ii) se usa para la evaluación de resultados. Aunque se reduce la fuerza de árboles de decisión empleados en la Colección 1, la correlación entre árboles es menor y por lo tanto el error de confusión y generalización de píxeles también (Breiman, 2001). Durante el proceso, el intérprete puede excluir áreas donde el algoritmo aleatorio no selecciona muestras para determinadas categorías.

De acuerdo con Tumer & Ghosh (1996) se ha demostrado que combinar resultados de múltiples clasificadores para predecir un resultado da precisiones de clasificación muy altas, por lo tanto se considera que Random Forest (RF) al combinar la salida de múltiples árboles de decisión genera mayor confiabilidad en el mapeo.

La clasificación por medio de Random Forest (RF) siguió un flujo de 13 pasos iterativos aplicados para el caso de Colombia en dos ciclos; estos pasos cíclicos fueron aplicados con posterioridad a la generación de mosaicos, que se describe a grandes rasgos de la siguiente manera:

- Identificación de las muestras estables.
- Cálculo de áreas a través de polígonos de exclusión definidos según el comportamiento del Mapa de MapBiomias Amazonía de la Colección 1 obteniendo una clasificación preliminar hacia el paso 4.
- Ejecución del llenado de vacíos de información (gap fill) en el paso 5.
- Segunda identificación de muestras estables y cálculo de áreas hasta lograr una segunda clasificación en el paso 8.

- Selección de muestras complementarias consideradas para cada clase de cobertura.

Consecutivamente se ejecutan los pasos del 9 al 13 (Ver flujo de clasificación, figura 9) aplicando filtros temporales, espaciales, de frecuencia e incidentes y de esta manera culminar con dos ciclos que permitieron dar detalle y ajustes correctivos en la clasificación logrando la clasificación a nivel multitemporal de la Amazonía colombiana dispuesta a integración.

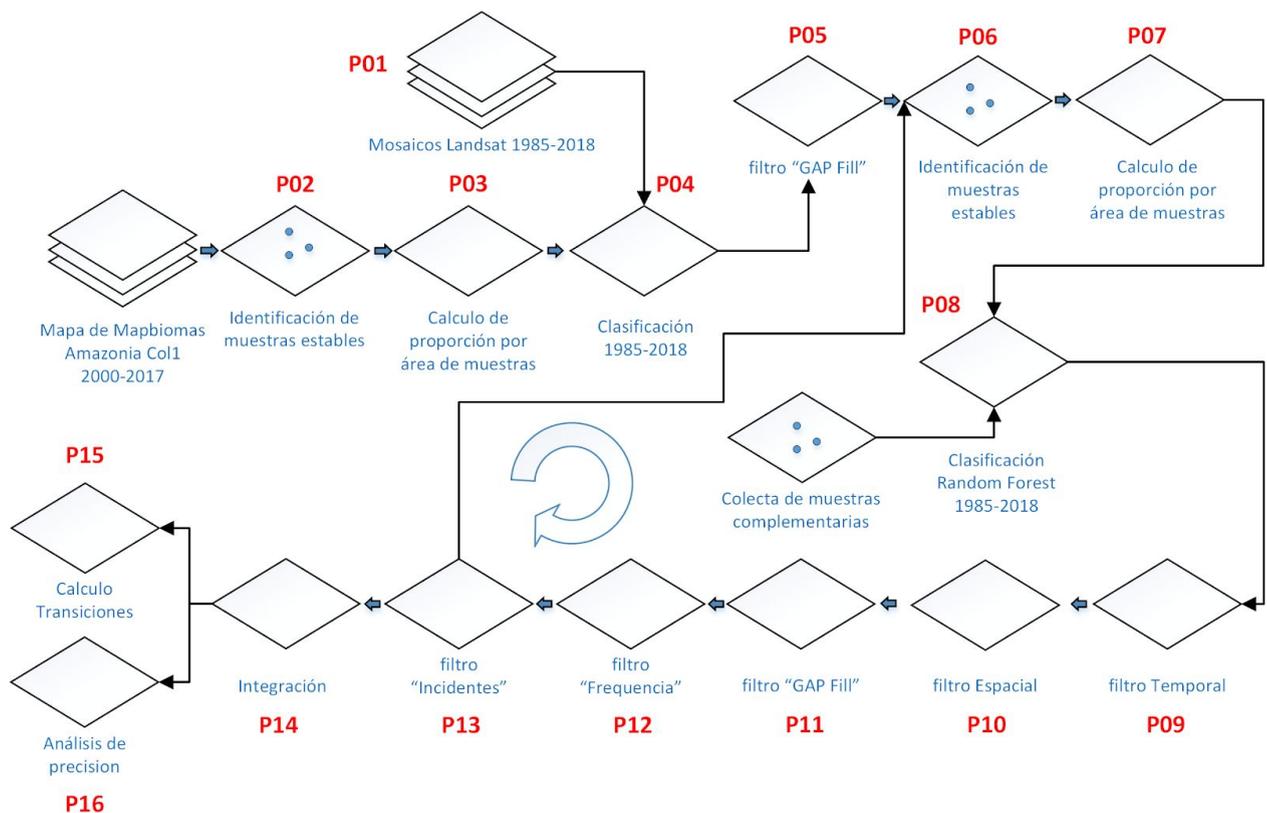


Figura 11. Flujo de clasificación MapBiomias Amazonía Colección 2.

4.2. Regiones de clasificación

Las regiones de clasificación se definieron con base en los criterios biogeográficos observados en la interpretación de la Colección 1 que presentaba confusión entre clases con el objetivo de obtener un mejor desempeño del clasificador. Estas clases no se ven reflejadas en el resultado ni tienen implicaciones de interpretación distintas entre ellas. Para su delimitación, se utilizó como referencia el mapa de coberturas 2014 de SINCHI, ecosistemas de IDEAM 2015 y la experiencia que se tenía luego de haber desarrollado la colección 1 de MapBiomias Amazonía, esta

última utilizada para subsanar zonas problemáticas detectadas en el procesos de clasificación anteriores.

Se definieron 15 regiones de clasificación (ver siguiente figura), en un análisis entre regiones se encuentra una alta variabilidad entre clases, es decir que sus coberturas fueran relativamente diferentes en términos de la clasificación. Por ejemplo, en la región 30208 se tiene que un alto porcentaje de su cobertura es dominada por bosques y sobre ellos algunos parches de áreas de mosaicos de agricultura o pastos, áreas sin vegetación y agua principalmente; estas coberturas tienen diferencias espectrales muy marcadas lo que permite separarlas muy fácilmente, todo lo contrario sucede si encontramos áreas de agricultura o pastos mezcladas o adyacentes con formaciones naturales no forestales que son principalmente arbustales y herbazales, estas clases tienen una características espectrales similares lo que no permite separar muy bien las clases para ser mapeadas.

Este efecto se presentó en la región 30212 que es la transición entre la sabanas del orinoco con la selva amazónica. Sobre esta área se confundieron en principio las coberturas de sabana con los pequeños parches de agricultura o pastos.

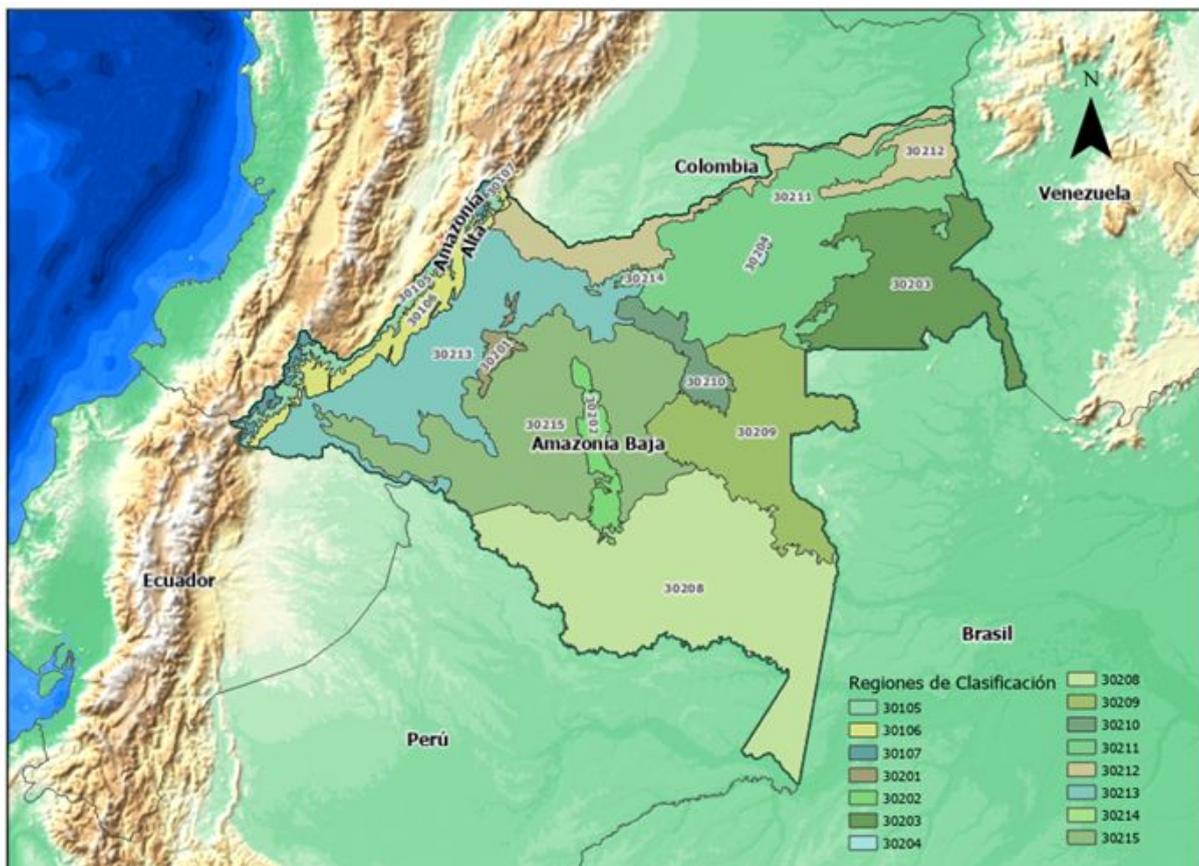


Figura 12. Regiones de clasificación Amazonía colombiana

Tabla 2. Clases mapeadas por regiones de clasificación en la Amazonía colombiana

Nº	REGIÓN MOSAICO	REGIÓN CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CLASES MAPEADAS	VERSIÓN
1	Amazonía Alta 301	30105	Zona de montaña localizada en el piso andino colombiano sobre los 1.800 y 2.800 m.s.n.m. con temperaturas que fluctúan entre los 12 y 18°C.	3,21,22,33	16
2		30106	Zona de montaña localizada en el piso subandino colombiano entre los 500 y 1.800 m.s.n.m. con temperaturas que fluctúan entre los 18 y 24°C.	3,21,33	16
3		30107	Zona de bosques de alta montaña, Subpáramo, Páramo, Superpáramo de clima frío muy seco a nivel seco. Se localiza por encima de los 2.800 m.s.n.m.	3,21,22,33,13	16
4	Amazonía Baja 302	30201	Sabanas del Yari, formadas bajo diversas condiciones climáticas y elevaciones en las que pueden presentarse afloramientos rocosos en donde predominan herbazales, bosques naturales y pastos.	3,21,22,13,33	16
5		30202	Serranía de chiribiquete, zona con suelo incipiente sobre roca dura con predominio de herbazales y vegetación natural.	3,22,33	16
6		30203	Zona de clima cálido muy húmedo y cálido húmedo. Se encuentra sobre la unidad geomorfológica de superficies de planamiento, con predominio de bosques naturales y herbazales.	3,21,22,13,33	16
7		30204	Zona con suelo incipiente sobre roca dura con predominio de herbazales y vegetación natural.	3,12,22,33	16
8		30208	Zona de clima cálido muy húmedo y cálido húmedo ubicado sobre lomerío fluvio gravitacional y estructural erosional (86%) cubierto por bosques naturales, pastos y herbazales no intervenidos.	3,12,21,22,33	14
9		30209	Zona cubierta por bosques naturales, pastos y herbazales intervenidos. Clima cálido muy húmedo y cálido húmedo ubicado sobre lomerío fluvio gravitacional y estructural erosional.	3,13,21,22,33	16
10		30210	Zona cubierta principalmente por herbazales y bosque natural sobre unidades geomorfológicas de superficies de planamiento con presencia suelo incipiente sobre roca dura.	3,21,22,33,13	16
11		30211	Zona de clima cálido muy húmedo y cálido húmedo ubicado sobre lomerío fluvio gravitacional y estructural erosional cubierto por bosques naturales, pastos y herbazales limitando con sabanas naturales.	3,21,22,13,33	14
12		30212	Zona con predominio de herbazales, pastos y bosque natural que se encuentra sobre planicie aluvial y piedemonte aluvial y coluvio-aluvial.	3,12,21,22,33	14
13		30213	Zona altamente intervenida con presencia de pastizales sobre planicie aluvial y valle aluvial con presencia de lugares con mal drenaje, encharcamiento permanente o prolongados periodos de inundación.	3,21,22,33	16
14		30214	Zona con presencia de afloramientos rocosos y vegetación herbácea natural expuesta. Se caracteriza por un lento recubrimiento del suelo sobre planicie aluvial y piedemonte.	12,21,22,3,33	14
15		30215	Zona de clima cálido muy húmedo (60%) y cálido húmedo (40%) ubicado sobre lomerío fluvio gravitacional y estructural erosional (86%) cubierto por bosques naturales, pastos y herbazales intervenidos.	3,12,21,22,33	16

4.3. Leyenda

La leyenda general de la Colección 2 de MapBiomás para la Amazonía colombiana incluye las siguientes clases definidas de común acuerdo por la RAISG y por tanto aplicables a los países amazónicos:

Tabla 3. Leyenda aplicada para la Amazonía colombiana.

ID	CLASE	REGIÓN
3	Formação Florestal	Amazonía Alta
		Amazonía Baja
12	Formação Campestre	Amazonía Baja
13	Outra Formação Natural não Florestal	Amazonía Alta
		Amazonía Baja
21	Mosaico de agricultura e/ou pastagem	Amazonía Alta
		Amazonía Baja
22	Outra Área não Vegetada	Amazonía Alta
		Amazonía Baja
33	Río, Lago u Oceano	Amazonía Alta
		Amazonía Baja

La leyenda considera coberturas y usos de la tierra que fueron seleccionadas a partir de información de referencia nacional (Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010) y clases de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). A continuación se describen las clases de coberturas mapeadas en la presente colección:

4.3.1 Leyenda Amazonía Baja

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 pasto, áreas sin vegetación o algún tipo de vegetación en transición.

Se encuentran otras formas biológicas naturales, tales como diferentes especies de palma y la guadua (IDEAM, 2010). Las especies que dominan esta cobertura comprende 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. También se incluyen bosques inundables localizados en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua (lóticos) que corresponden principalmente a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos.

Se exceptúan de esta clase las plantaciones asociadas a monocultivos de palma africana o palma de aceite que han sido establecidos de manera antrópica. Corresponde a la cobertura más extensa en el territorio colombiano.

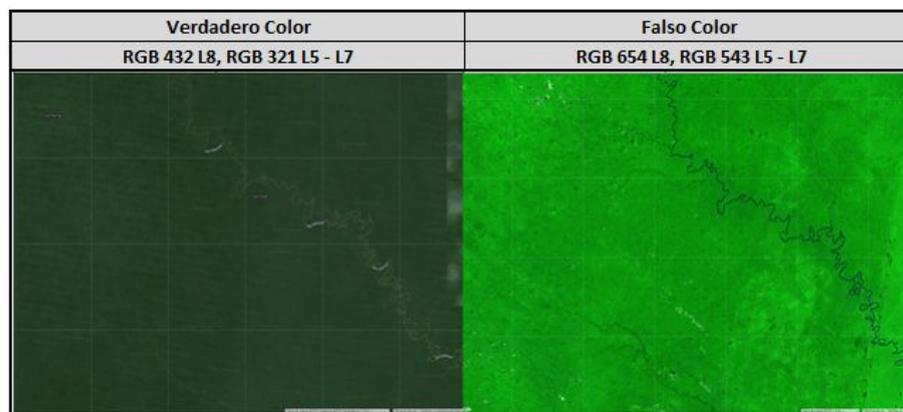


Figura 13. Firma espectral Formación Forestal Amazonía Baja

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).

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, 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 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 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.

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 (IDEAM,2010).

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.

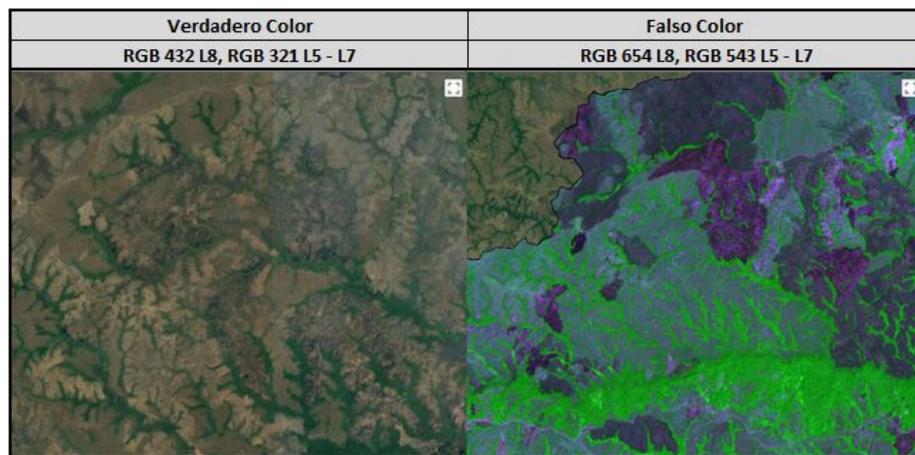


Figura 14. Firma espectral Formación campestre Amazonía Baja

La respuesta espectral de esta cobertura en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, presenta tonalidades de color verde azulado a violeta oscuro con matices claros. En una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se observa un color rojo oscuro con rojos opacos. La firma espectral visible o en verdadero color presenta tonalidades marrones 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.

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 geformas constituidas por arenas eólicas, afloramientos rocosos y pedregosos del Escudo Guayanés. En la Amazonía baja colombiana su predominio está asociado a los departamentos de Vaupés y Guainía.



Figura 15. Firma espectral otro tipo de formación natural no forestal Amazonía Baja

Esta cobertura se interpreta en la Amazonía baja de Colombia como vegetación baja observable sobre algunos relieves colinados, afloramientos rocosos o algunos tepuyes de baja altitud. 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 verde mate claro y algunos tonos más oscuros de vegetación arbustiva densa. En una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se presenta de color rojo oscuro. Presenta una textura heterogénea fina a media con un patrón asociado con relieves colinados, afloramientos rocosos y suelos con baja profundidad efectiva.

Mosaico de Agricultura 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 (IDEAM, 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 arbustivos como café y cacao; y cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales. 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.

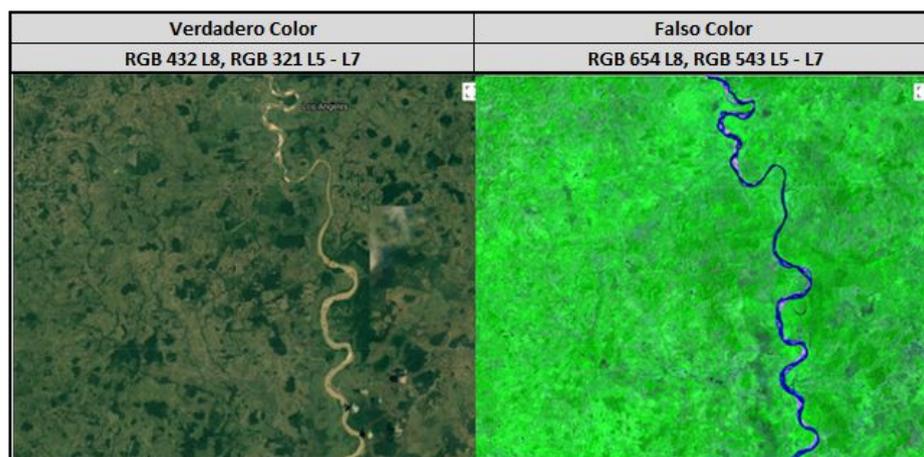


Figura 16. Firma espectral mosaico de agricultura o pasto Amazonía Baja

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, con una matriz de tonos de verde claro y colores rosados a violeta los cuales corresponden a suelos en preparación, cultivos en diferentes estados fenológicos y a pastos respectivamente. En una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432

Landsat 7 y Landsat 5 se presenta de color rojo muy claro dada la juventud de la vegetación.

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.

Los cultivos de palma de aceite normalmente se realiza en grandes extensiones y su aprovechamiento es en escala industrial. En la imagen se observa este cultivo con un claro patrón geométrico regular, el cual está asociado con las redes de acceso para su cuidado y aprovechamiento.

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.

Áreas sin vegetación (ID:22)

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 (IDEAM, 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 áreas urbanas, redes viales, aeropuertos, zonas mineras, suelo expuesto, afloramientos rocosos, zonas quemadas.

Las zonas quemadas se refiere 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.

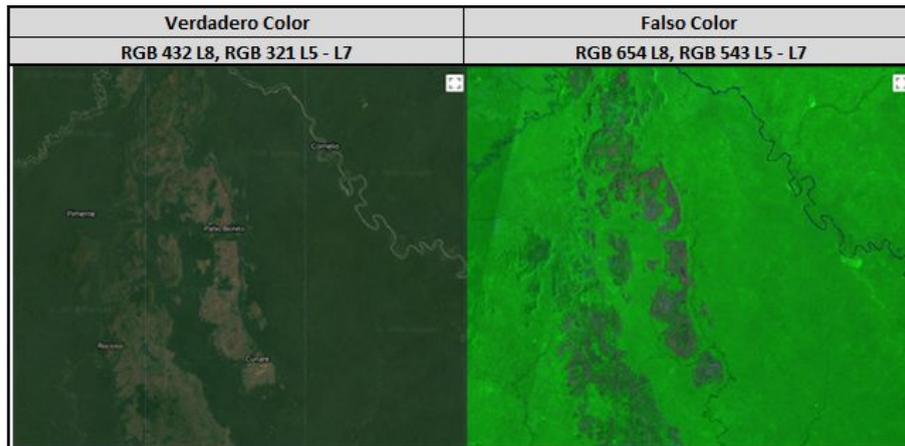


Figura 17. Firma espectral áreas sin vegetación Amazonía Baja

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5 se caracteriza por presentar color azul a violeta muy claro. 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.

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.

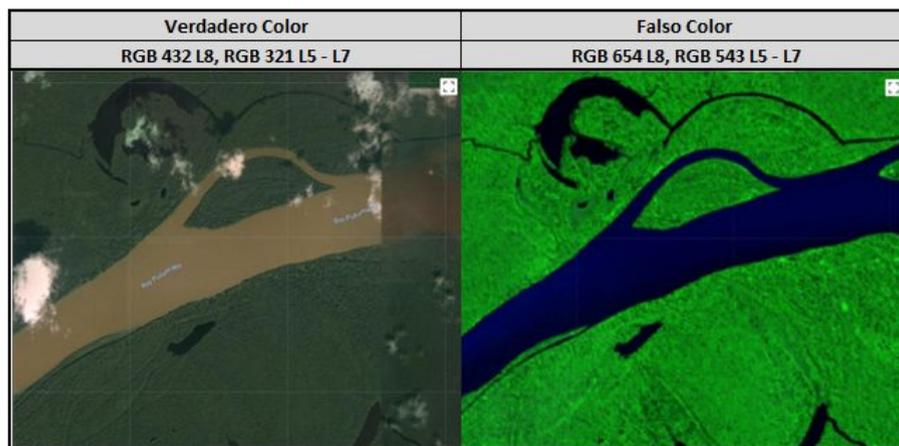


Figura 18. Firma espectral río, lago u océano Amazonía Baja

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 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5; en una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se observan de color rojo oscuro casi negro. Muestra una textura muy fina homogénea

con un patrón de drenaje que sigan los diferentes cursos hídricos en algunos casos de tipo dendrítico.

4.3.2. Leyenda Amazonía Alta

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 (IDEAM, 2010). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Se incluyen franjas de bosque ripario en cursos de agua de zonas andinas como también vegetación secundaria o en transición originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original.

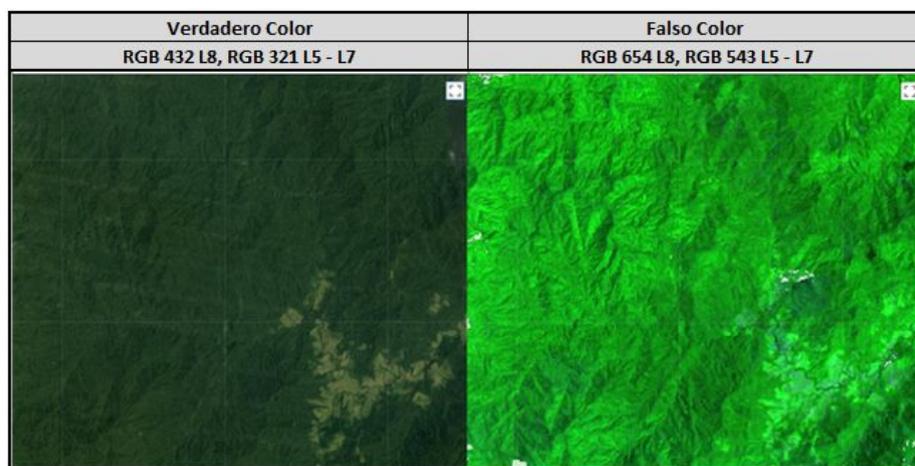


Figura 19. Firma espectral Formación Forestal Amazonía Alta

Para su diferenciación las formaciones forestales de Amazonía Alta 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. En la imagen de satélite en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, se presenta color verde claro con matices de verde oscuro, en una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se observan de color rojo intenso con matices oscuros. 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 la copas de gran tamaño.

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 (IDEAM, 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 (FAO, 2001).

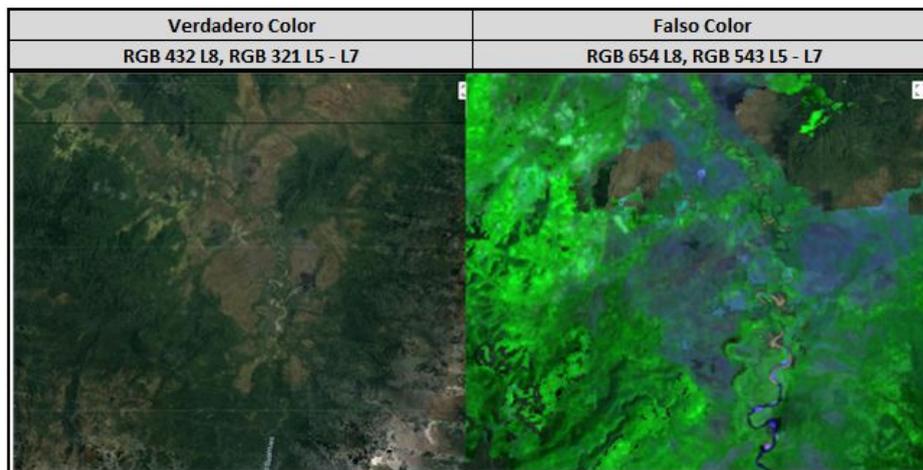


Figura 20. Firma espectral otro tipo de formación natural no forestal Amazonía Alta

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, se observan tonalidades de color cian a verde claro y en zonas de mayor anegamiento matices de color azul oscuro. En una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se presenta de color rojo oscuro opaco. En verdadero color, se observa marrón con una textura fina a media heterogénea y un patrón asociado a zonas con poca intervención antrópica y afloramientos rocosos y relieves colinados.

Mosaico de Agricultura 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 (IDEAM, 2010).

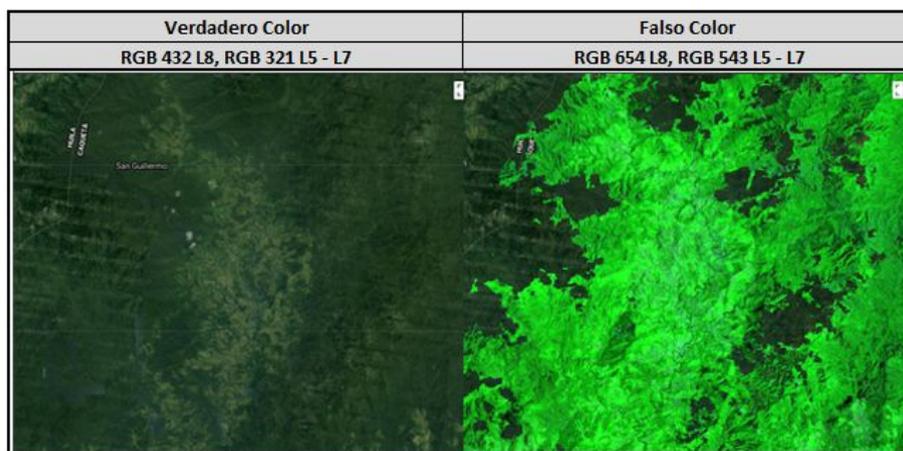


Figura 21. Firma espectral mosaico de agricultura o pasto Amazonía Alta

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 como tienen un patrón en forma de espina de pescado que siguen la disposición de las vías de acceso y las zanjas de drenaje para la exportación.

A nivel de firma espectral esta clase de cobertura presenta en combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5, una matriz de tonos de verde claro y colores rosados a violeta los cuales corresponden a suelos en preparación,

cultivos en diferentes estados fenológicos y a pastos respectivamente. En una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se presenta de color rojo muy claro dada la juventud de la vegetación. Presenta una textura fina homogénea siguiendo un patrón geométrico dado por la parcelación de los predios.

Áreas sin vegetación (ID:22)

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. Incluye zonas arenosas naturales, áreas urbanas, redes viales, aeropuertos, zonas mineras, suelo expuesto, afloramientos rocosos, zonas quemadas.

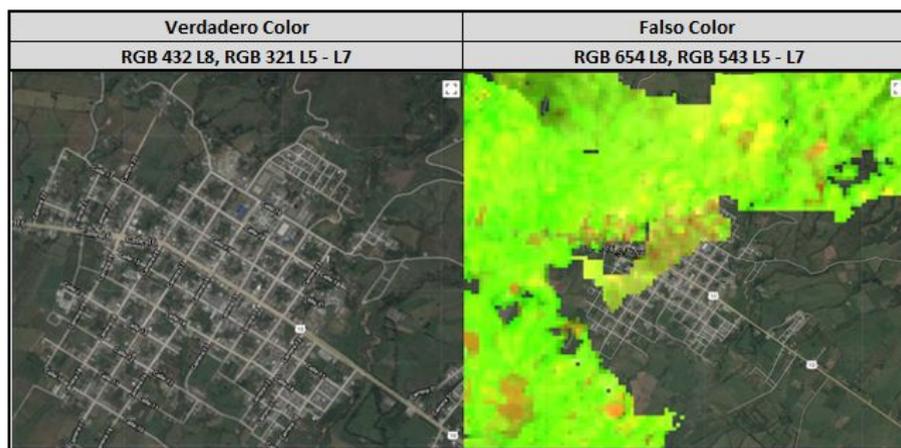


Figura 22. Firma espectral áreas sin vegetación Amazonía Alta

En combinación falso color RGB 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5 se caracteriza por presentar color azul a violeta muy claro. 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.

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 (IDEAM, 2010).

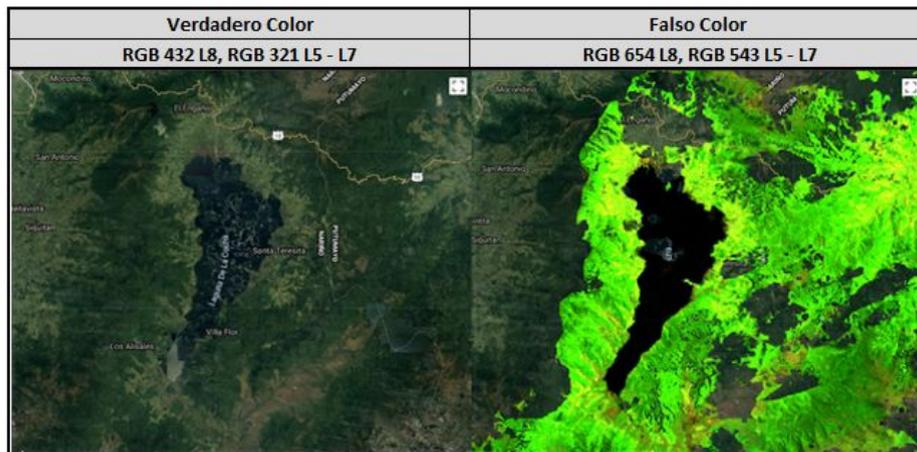


Figura 23. Firma espectral río, lago u océano Amazonía Alta

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 654 Landsat 8 y 543 Landsat 7 y Landsat 5; en una combinación RGB 543 Landsat 8 y RGB 432 Landsat 7 y Landsat 5 se observan de color rojo oscuro casi negro. Muestra una textura muy fina homogénea con un patrón de drenaje que sigan los diferentes cursos hídricos en algunos casos de tipo dendrítico.

4.4. Integración de la clasificación

Posteriormente a la clasificación por regiones, se dió un proceso de integración que consiste en obtener una sola capa geográfica que cuenta con concordancia de las coberturas de la tierra interpretadas en las regiones adyacentes y unicidad en la resolución espacial y temporal para la Amazonía colombiana. A continuación se muestra una imagen con el resultado obtenido:

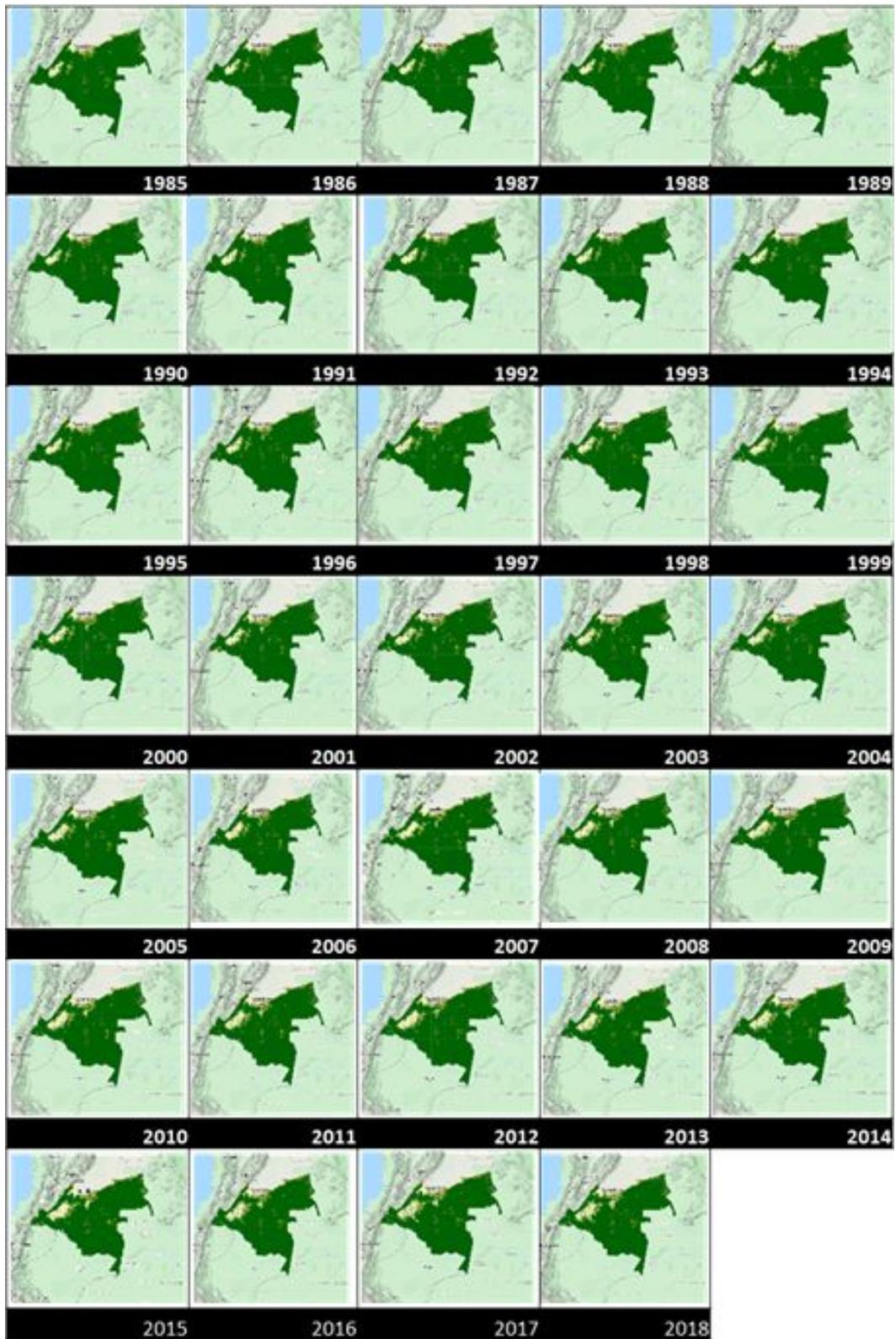


Figura 24. Clasificación multitemporal Amazonía colombiana Colección 2.

5. Pos-clasificación

Luego de haber tomado las muestras complementarias en el paso 8 para entrenar el algoritmo de clasificación, la metodología permite hacer un edición automática o corrección de errores que quedan como consecuencia de las sombras remanentes de nubes, falta de información por gaps en los mosaicos y efecto sal-pimienta, es decir píxeles dispersos sobre la imagen. De esta manera se aplicaron una serie de filtros que a continuación se describen y que permiten tener una mejor representación de las clases mapeadas a lo largo de la serie temporal, esto son en su orden de aplicación:

1. Filtro temporal
2. Filtro espacial
3. Gap fill
4. Filtro de frecuencias
5. filtro de incidentes

5.1. Filtro Temporal

Se utilizaron 3 tipos de filtros, filtro de año intermedio, de primer año y de último año. En ese orden de ejecución estos filtros corrigen las inconsistencias de clasificación que se presentan en la serie temporal y utiliza 3 tipos de reglas de acuerdo a la persistencia de los errores en el tiempo; para el filtro de año intermedio se utilizaron reglas de 3, 4 y 5 años.

En el siguiente ejemplo, para la regla de 3 años se tiene un pixel clasificado como bosque y al año siguiente se presenta una transición hacia la clase agricultura o pastos (AOP), pero al siguiente vuelve a ser bosque. El filtro corrige el año intermedio como bosque, ya que no es posible que hayan este tipo de transición en un periodo tan corto. Se debe tener en cuenta que para los años de inicio y fin del periodo analizado 1985 y 2018 no se aplica la regla ya que no existen años para compararlos.

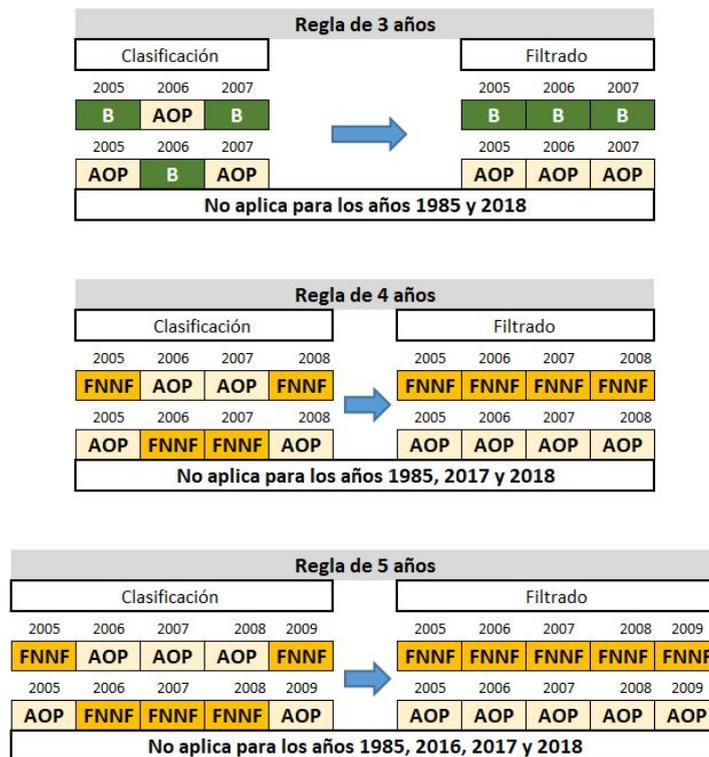


Figura 25. Filtro temporal.

La regla de primer año corrige inconsistencias básicamente al inicio de la serie temporal debido a falta de información. El ejemplo siguiente muestra una transición de áreas de agricultura a bosque en un periodo de un año. La regla de último año corrige el pixel mal clasificado al final de la serie temporal.



Figura 26. Filtro temporal regla de primer y último año.

El objetivo principal de este set de filtros es tener una serie temporal estable sin saltos inconsistentes que puedan afectar los reportes estadísticos.

5.2. Filtro Espacial

El filtro espacial limpia los píxeles aislados por efecto sal pimienta; de esta manera se evita mapear errores que son producto principalmente de sobre exposición de la

imagen, es decir, que tenga demasiado brillo o por posibles sombras de nubes remanentes en el mosaico. Para ello se definió una regla aplicación donde debe haber mínimo 5 píxeles, equivalentes a un poco menos de media hectárea, que deben estar conectados, de lo contrario el algoritmo clasificará todos aquellos píxeles que no cumplan con la condición anterior hacia la clase predominante. Esta se define entonces como el área mínima de mapeo.

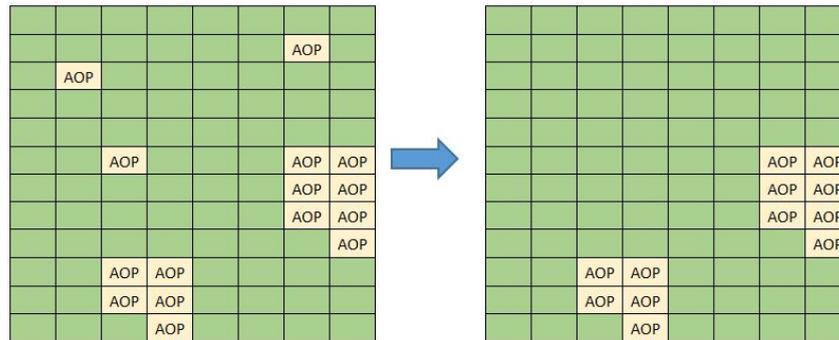


Figura 27. Filtro espacial.

5.3. Gap Fill (Relleno de vacíos)

El objetivo del filtro de Gap fill es rellenar los espacios vacíos que se producen en los mosaicos por falta de información. Hay zonas en las que las imágenes de buena calidad es mínima y llega a presentarse casos en los que para varios años consecutivos no hay imágenes para poder hacer el mapeo de coberturas.

El algoritmo definido para esta colección identifica zonas donde no existe información en la serie temporal y llena estos vacíos con datos del año anterior hasta que haya disponibilidad (ver figura siguiente).

- Para el punto 1 en los años 87 y 88 no hubo información por lo que el algoritmo rellenó con datos del año 86.
- En el caso del punto 2 no hubo información en el periodo comprendido entre el año 92 al 95, por lo que fueron llenados con información del año 91.

Es de aclarar que es este proceso se hace a nivel de píxel, es decir, la gráfica siguiente ejemplifica el caso de un píxel aleatorio en la carta NA-19-X-C, ubicada en el departamento del Guainia.

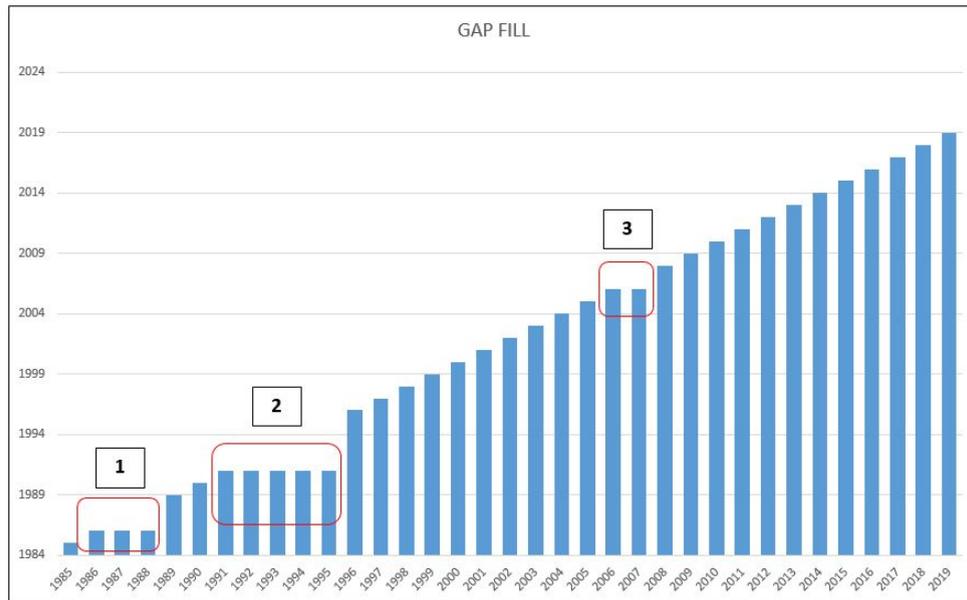


Figura 28. GapFill.

5.4. Filtro de Frecuencias

Para el caso de la Amazonía colombiana, este filtro solo se aplicó a las clases formación forestal, formación campestre y otra formación no forestal, ID 3, 12 y 13 respectivamente, tomando en cuenta la serie de 34 años de clasificación para hacer las correcciones. La lógica que utiliza el algoritmo utiliza dos parámetros, i) debe cumplir con que el pixel de alguna de las clases 3, 12 o 13 en la serie temporal tenga una representación mayor al 94% de información, si este umbral es menor no se aplica el filtro y ii) el pixel en la serie temporal tenga una prevalencia mayor al 80% para poder reclasificar los posibles errores; es decir, se generaliza en función de la frecuencia de las clases a lo largo de la serie temporal. La siguiente imagen ejemplifica el resultado de aplicación del filtro de frecuencias.

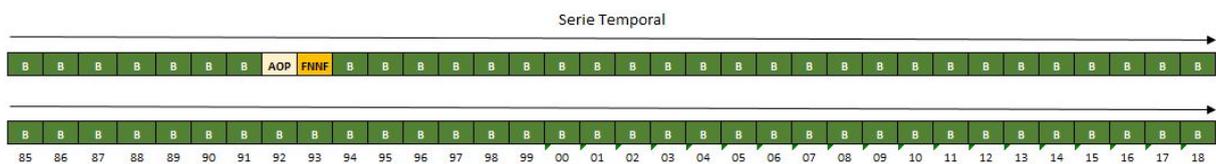


Figura 29. Filtro de Frecuencias.

5.5. Filtro de Incidentes

Este último filtro tiene como principal objetivo remover los errores de clasificación que se dan en los bordes entre clases adyacentes, se aplicó mediante el conteo de cambios que presentaba cada pixel en la serie. Además de tomar criterios espaciales para remover errores, incluye la moda como parámetro estadístico. Es

de aclarar que los incidentes se refiere al número de cambios que hay en toda la serie y la moda es la clase que mayor prevalencia tiene para un mismo año, sobre este último criterio se realizó la reclasificación.

6. Reclasificación

Una vez aplicados el conjunto de filtros se hizo una inspección visual o control de calidad de los mapas finales con el objetivo de encontrar zonas donde no fue posible corregir los errores remanentes en el procesos de pos-clasificación. En el caso de la Amazonía colombiana se tienen varios periodos que presentaron falta de información o quedo ruido permanente por sobre exposición de las imágenes de satélite. En estos casos fueron utilizados una serie de polígonos extraídos de otros mapas de referencia, principalmente del mapa de coberturas de SINCHI. Sobre estas coberturas se identificaron las zonas con problemas para hacer un remapeo de las clases mal mapeadas. El siguiente cuadro ejemplifica el proceso:

Tabla 4. Reclasificación.

Región	Clase Original	Reclasificado	Descripción
30107 Amazonía Alta	-Bosque (ID: 3) -Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	-Rio, Lago u Océano. (ID: 33) -Otra Formación Natural No Forestal (ID: 13)	Para esta región se reclasificaron algunos píxeles de bosque que estaban en la Laguna de la Cocha. Además de determinados píxeles sobre la parte montañosa donde no se encuentra Mosaicos de agricultura y pastos sino Otra Formación Natural No Forestal.
30202 Planicie Amazónica	Río, lago u océano (ID: 33)	Formación Forestal (ID: 3)	La región presenta tepuyes que por su topografía se evidencian sombras en el mosaico de imágenes que en la clasificación se confunden con cuerpos de agua.
30208 Planicie Amazónica	Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	Formación Forestal (ID: 3)	Se presentaba confusión de clases por sobre exposición de las imágenes. Zonas con un alto brillo por lo que se

			confunden áreas de bosque con agricultura o pastos
30209 Planicie Amazónica	Otra Formación Natural No Forestal (ID: 13)	Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	Se realizó la reclasificación de la región pasando de otras formaciones naturales no forestales a clase de uso en donde se consideran actividades agrícolas asociada a comunidades y cultivos en el borde de los ríos.
30210 Planicie Amazónica	Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	Áreas sin vegetación (ID:22)	En esta región para los afloramientos rocosos y las zonas urbanas se excluyeron los píxeles de Mosaico de Agricultura o Pastos.
30211 Planicie Amazónica	Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	Formación Forestal (ID: 3)	Se presentaban confusión de clases en los meandros de los ríos
30212 Planicie Amazónica	Formación Forestal (ID: 3)	Mosaico de Agricultura o Pastos (ID: 21)	Cultivos de palma que en principio se clasificaban como mosaico de agricultura o pastos sin embargo, al pasar del tiempo se clasificaban como bosque. Para el desarrollo de este proyecto se decidió dejar estas zonas como mosaico de agricultura o pastos
30213 Planicie Amazónica	Mosaico de Agricultura o Pastos Y Áreas sin vegetación (ID: 21,22)	Formación Forestal (ID: 3)	Por falta de información en los mosaicos se clasificaron zonas como de mosaicos de agricultura o pastos, pero eran formaciones forestales

7. Referencias

Breiman, L. (2001). Random Forests (Vol. 45). Berkeley. Disponible en:
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1010933404324.pdf>

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

IGAC. (1999). Paisajes Fisiográficos de Orinoquia - Amazonía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Análisis Geográficos N° 27-28, 361 p.

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

Walter, H. (1977). Zonas de vegetación y clima: breve exposición desde el punto de vista causal y global. Barcelona (España). Omega. 1977. x, 245 p.