

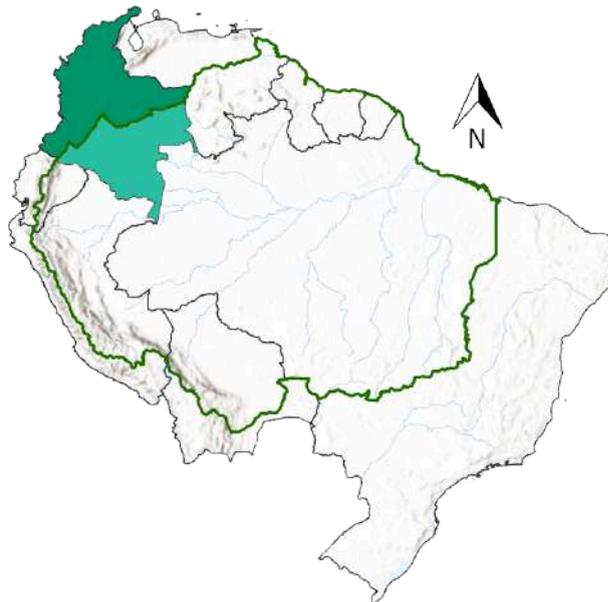
MAPBIOMAS  
[COLOMBIA]

## Apéndice - Coberturas Inundables

Algorithm Theoretical Basis Document - ATBD

**Colección 2.0**

**Versión 1.0**



**Octubre de 2024**

**Coordinación del proyecto MapBiomias Colombia**

Adriana Rojas Suárez

**Responsable técnico transversal de inundables**

John Aguilar - Karen Andrea Huertas

**Desarrollo**

Emmanuel Valero - John Aguilar

**Equipo de especialistas**

Miguel Restrepo  
Janner Simbaqueba  
John Aguilar  
William Martinez

**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.gaiamazonas.org>

**Cómo citar:**

MapBiomias Colombia (2024). Apéndice - Coberturas Inundables. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). MapBiomias Colombia Colección 2. Fundación Gaia Amazonas. Bogotá, Colombia.

# CONTENIDO

---

<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Metodología MapBiomás Colombia - Transversal Coberturas Inundables.....</b>	<b>7</b>
2.1. Flujo metodológico.....	7
2.2. Definición y Construcción de los Mosaicos Satelitales.....	8
2.3 Generación de máscaras de referencia.....	11
2.4 Selección de variables de clasificación.....	12
2.5 Muestras de entrenamiento.....	13
<b>3 Clasificación.....</b>	<b>15</b>
3.1 Clases identificadas.....	16
3.1.1 Bosque Inundable - (ID 6).....	16
3.1.2 Formación Natural No Forestal Inundable - (ID 11).....	20
<b>4 Post-clasificación.....</b>	<b>25</b>
4.1 GAP FILL (Llenado de vacíos de información).....	25
4.2 Filtro temporal.....	25
4.3 Filtro espacial.....	26
4.4 Filtro de frecuencia.....	26
<b>5 Referencias.....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Capas de referencia utilizadas para el proyecto. Fuente: Adaptado de MapBiomias C2, 2022.. 11

Tabla 2. Variables para la clasificación de coberturas inundables de la Colección 1. Fuente: MapBiomias Colección 4, 2022. \*Kauth, R. J. and Thomas, G. S. (1976) desarrollaron coeficientes que realzan la información contenida en las bandas espectrales (Landsat) y generaron fórmulas a las que se refirieron como "Tasseled Cap" (TC), representadas en tres bandas: Brightness (brillo) está asociado a las variaciones de reflectancia del suelo, Greeness (verdor) está correlacionado con el vigor de la vegetación, y Wetness (Humedad) está influenciado por las bandas en el IR medio y tiene que ver con la humedad vegetal y del suelo (Kauth & Thomas, 1976)..... 13

Tabla 3. Fuentes de referencia de formación no forestal en humedales. Fuente: Elaboración propia.. 14

Tabla 4. Reglas de aplicación de filtro temporal y resultados. Fuente: MapBiomias Colección 4, 2022. Donde RG es una regla general, aplicada a todos los años intermedios (1986 - 2022); RP es una regla de primer año, aplicada solo al año 1985; y RU es una regla de último año, aplicada al año 2023. T0 es el año sobre el cual es aplicado el filtro, T-n los años anteriores, y T+n, los años posteriores. Bi: Bosque inundable. Fi: Formación natural no forestal inundable, No: No observado..... 26

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Diagrama metodológico para la identificación de coberturas inundables.....	8
Figura 2. Área de estudio, países y biomas que lo componen.....	9
Figura 3 - Delimitación de regiones de clasificación a partir de mapas de referencia. Fuente: Elaboración propia. En total se generaron 55 regiones de clasificación para el territorio colombiano, de estas 19 corresponden al bioma amazónico, 13 al andino, 7 al caribeño, 7 a la orinoquía, 6 al pacífico y 3 a los insulares.....	12
Figura 4. Muestras de entrenamiento(a), composición de la máscara de referencia para muestras de entrenamiento, en este caso se usaron referencia de la Col 1, Cifor, GFP, referencia nacional y Muestras acumuladas Col 1 y 6 (b) muestras sorteadas aleatoriamente para cobertura de Bnl y (c) muestras sorteadas aleatoriamente para cobertura de FNnFI. Fuente: MapBiomias Colección 2, 2023..	15
Figura 5. Respuesta Espectral Bosque inundable en el bioma Amazonía. Puerto Palermo, Guaviare, Año: 2021, Escala: 2km, Coordenadas: -72.134490 W, 1.391949 N. (Leyenda Bqln).....	16
Figura 6. Respuesta Espectral de la clase Bosque Inundable en el bioma Caribe. Río Magdalena, Límites entre Bolívar y Santander, Año: 2022, Escala: 200m, Coordenadas:-73.82262 W, 7.76953 N (Leyenda Bqln).....	17
Figura 7. Respuesta Espectral de los bosques inundables en el bioma Orinoquía. Río Tuparro, Cumaribo - Vichada, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -68.04943 W, 5.21289 N (Leyenda Bqln).....	18
Figura 8. Respuesta Espectral Bosque Inundable en el bioma Pacífico. Río Atrato, Riosucio - Antioquia, Año: 2018, Escala: 500 m, Coordenadas: -77.10302 W, 7.45646 N (Leyenda Bqln).....	19
Figura 9. Respuesta Espectral Formación Natural No Forestal Inundable en el bioma Amazonía. Río Apaporis, límite entre Vaupés y Amazonas, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -70.91985 W, -0.16152 (Leyenda FNnFI).....	20
Figura 10. Respuesta espectral de Formación Natural no Forestal Inundable en el bioma Andes.....	21
Figura 11. Respuesta Espectral de la clase Formación Natural No Forestal Inundable en el bioma Caribe . Ciénaga Zurra, Tenerife Magdalena, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas: -74.85062 W, 9.86896 N. (Leyenda FNnFI).....	22
Figura 12. Respuesta Espectral de los bosques inundables en el bioma Orinoquía. Río Tuparro, Cumaribo - Vichada, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -68.04943 W, 5.21289 N. (Leyenda FNnFI).....	23
Figura 13. Respuesta Espectral Bosque Inundable en el bioma Pacífico. Río Atrato, Riosucio - Antioquia, Año: 2018, Escala: 500 m, Coordenadas: -77.10302 W, 7.45646 N (Leyenda FNnFI).....	24
Figura 14. Filtro de relleno de vacíos. Fuente: MapBiomias Colección 2, 2024.....	25

Figura 15. Efecto de la aplicación del filtro espacial. Fuente: MapBiomass Colección 2, 2024..... 26

Figura 16. Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia. Fuente: MapBiomass Colección 2, 2024..... 27

## 1. Introducción

---

Colombia alberga una amplia diversidad de tipos de humedales, en respuesta tanto a su topografía heterogénea como a su ubicación en la zona tropical, que le confiere condiciones climáticas particulares (Vilardy et al., 2004). Estos ecosistemas inundables ofrecen un portafolio extenso de servicios ecosistémicos esenciales, tanto para la biota que allí habita como para las comunidades humanas que dependen de estas coberturas (de Groot et al., 2006; Maltby et al., 2013). Sin embargo, la combinación de dinámicas naturales y antrópicas ha generado una notable variabilidad en estos ecosistemas, dificultando su identificación mediante técnicas de sensores remotos (MEA, 2005; Patiño & Estupiñan-Suarez, 2016). Esta relevancia y complejidad de las coberturas inundables en Colombia subraya la necesidad de una metodología de mapeo específica y detallada, capaz de capturar fielmente sus características. En este contexto, la metodología empleada para la **Colección 2 de MapBiomias Colombia** ha permitido mapear dos categorías clave de humedales: **Bosques inundables (6)** y de las **formaciones naturales no forestales inundables (11)**.

Para el mapeo de estas coberturas, se ha considerado la definición establecida por la Convención de Ramsar (Irán, 1971), que en su artículo 1, párrafo 1, define humedales como: ***“A los efectos de la presente Convención son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”***. Complemento a ello, se encuentra el artículo 2° ***“Podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal.”***. Además, como complemento a esta definición, se consideraron las observaciones de Wittmann et al. (2011) sobre la región amazónica, donde el pulso de inundación, monomodal, alcanza profundidades de entre 6 y 16 metros, con fases acuáticas y terrestres bien definidas a lo largo del año.

Los bosques inundables se encuentran principalmente como extensiones continuas de masa forestal en los valles de inundación de los ríos. Las mayores áreas de estas coberturas se localizan en la Amazonía y el Chocó biogeográfico; en la Orinoquía, aparecen como bosques de galería; en los Andes, predominan los bosques riparios; mientras que en la región Caribe se manifiestan como formaciones de manglares en la zona litoral y como componentes esenciales en las ciénagas del bajo Magdalena.

Por otro lado, las formaciones naturales no forestales inundables se presentan principalmente en las sabanas de la Orinoquía y en las grandes ciénagas de la cuenca Magdalena-Cauca en la región Caribe. En el Pacífico, estas formaciones se extienden a lo largo de las riberas del Atrato, entre otras áreas, mientras que en los Andes se encuentran en complejos de humedales como los de la sabana de Bogotá.

Estas coberturas desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y el ciclo de nutrientes. No obstante, enfrentan diversas presiones y amenazas que podrían comprometer su integridad y funcionalidad, lo que resalta la necesidad de contar con herramientas precisas para su identificación, mapeo y monitoreo continuado.

## 2. Metodología MapBiomias Colombia - Transversal Coberturas Inundables

---

### 2.1. Flujo metodológico

El mapeo de las coberturas inundables se llevó a cabo sobre una serie temporal de 39 años, abarcando el periodo entre 1985 y 2023, con el fin de detectar la variación temporal y espacial generada tanto por las dinámicas naturales como por las presiones antrópicas que afectan

estas coberturas. Como antecedentes clave en el proceso de interpretación y clasificación, se contó con la experiencia adquirida en la Colección 6 de MapBiomás Amazonía y la Colección 1 de MapBiomás Colombia. La clasificación completa se estructuró en tres etapas principales: (I) definición y construcción de mosaicos satelitales, (II) clasificación, y (III) aplicación de filtros de postprocesamiento.

Cada etapa incluyó diversos pasos, tales como la recopilación de datos de referencia, la definición de zonas de muestreo, clasificaciones preliminares para pruebas y ajustes metodológicos. El proceso de clasificación completo se presenta esquemáticamente en la Figura 1

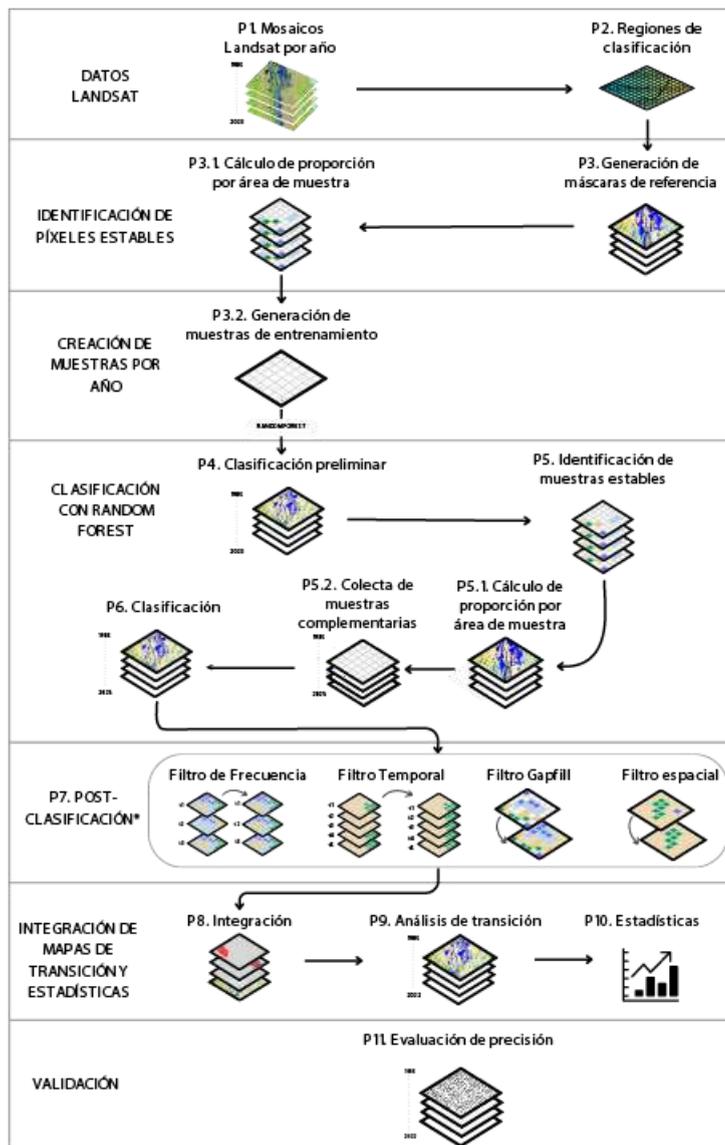


Figura 1. Diagrama metodológico para la identificación de coberturas inundables

## 2.2. Definición y Construcción de los Mosaicos Satelitales

Los mosaicos utilizados para identificar las coberturas inundables fueron los generados para el mapa de coberturas y uso de la Colección 2 MapBiomás Colombia y Colección 6 MapBiomás Amazonía; estos se construyeron a partir de las imágenes de la constelación Landsat

disponibles en las colecciones de Google Earth Engine®; adicional a la información espectral base calculada, se adicionaron las bandas asociadas al índice Tasseled Cap (Crist & Cicone, 1984), en sus tres diferentes componentes: Brightness, Greenness y Wetness.

Es importante resaltar que los mosaicos correspondientes a la zona Raisg se elaboraron utilizando como unidad de trabajo las cartas millonésimas mundiales, por otro lado, los pertenecientes a la zona no Raisg fueron construidos con base en las celdas Path-Row de Landsat (Figura 2).

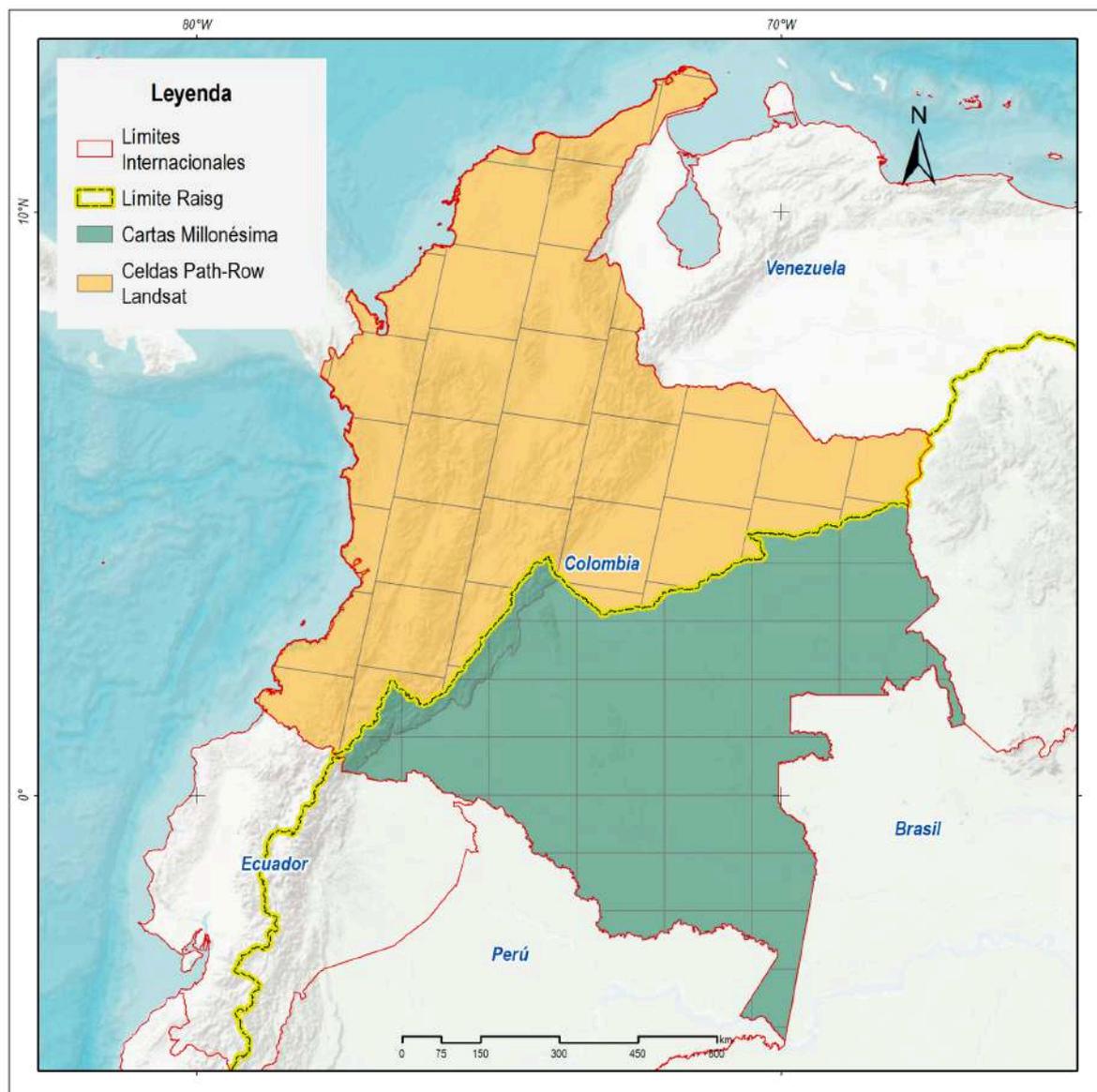


Figura 2. Área de estudio, países y biomas que lo componen

Cada mosaico se formó con 141 bandas que contemplan, además de las propias del satélite, índices espectrales derivados que utilizan los siguientes métodos de agregación<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Estos métodos de agregación se aplicaron a las imágenes Landsat seleccionadas por carta y path-row, y a todos los índices espectrales derivados de ellas.

- Mediana (\_median): Mediana por píxel de las imágenes correspondientes al periodo de mapeo óptimo definido para cada año<sup>2</sup>.
- Mediana época seca (\_dry): Mediana por píxel de las imágenes ubicadas en el percentil 25% anual de NDVI.
- Mediana época húmeda (\_wet): Mediana por píxel de las imágenes ubicadas en el percentil 75% anual de NDVI.
- Amplitud (\_amp): Amplitud anual por píxel.
- Desviación estándar (\_stdDev): Desviación estándar anual por píxel.
- Mínimo (\_min): Mínimo anual por píxel.
- Máximo (\_max): Máximo anual por píxel.

La selección de escenas y construcción de los mosaicos definitivos se realizó utilizando como referencia los siguientes parámetros, almacenados como metadatos en cada asset construido:

- ID: Identificador único de la región.
- Año: Año (1985 a 2023) al que corresponde el mosaico.
- Carta: Identificador de la carta
- Fecha inicial y final: Fechas utilizadas para la selección de imágenes de las colecciones disponibles en Google Earth Engine.
- Sensor: Identificador del sensor (L5: Landsat 5 TM, L7: Landsat 7 ETM+, L8: Landsat 8 OLI, L9: Landsat 9, LX: Combinación de escenas de Landsat 5 y Landsat 7, LY: Combinación de escenas de Landsat 8 y Landsat 9.)
- Cobertura de nubes: Porcentaje máximo permitido de cobertura de nubes. Se excluyeron de la creación de los mosaicos las escenas que superan ese porcentaje.
- Blacklist: Lista de escenas consideradas de mala calidad, que son excluidas de la construcción del mosaico.

---

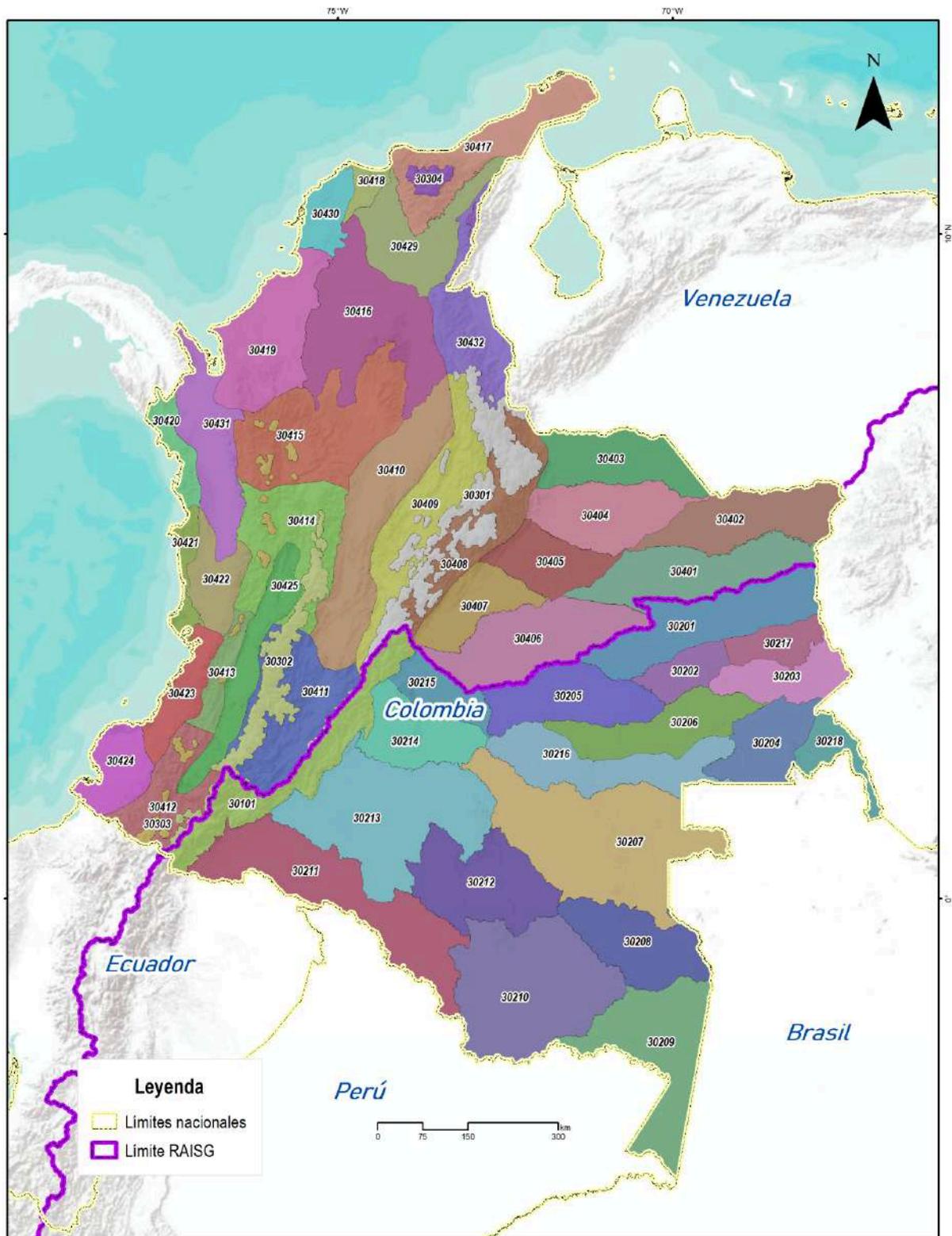
<sup>2</sup> Cada país evaluó y definió un periodo óptimo del año tomando como criterios: 1) la disponibilidad o cobertura de datos, 2) el contraste espectral entre clases y 3) las características fenológicas de la cobertura vegetal en diferentes momentos del año. Este periodo fue aplicado para calcular las bandas que emplearon el reductor de "mediana", mientras que para las demás bandas que emplearon otros reductores se consideró la totalidad de imágenes disponibles en el año calendario.

## 2.3 Generación de máscaras de referencia

A partir de los mosaicos generados para cada país, se seleccionaron aquellos correspondientes a las zonas de inundación utilizando capas vectoriales de diversas fuentes, con el objetivo de establecer los límites de las áreas inundables a clasificar (Tabla 1, Figura 3). Solo los mosaicos ubicados dentro de estas áreas se emplearon para la clasificación, excluyéndose del procesamiento aquellos que se encontraban fuera de estos límites. Es importante destacar que no todas las fuentes de referencia se usaron en todas las regiones de clasificación; en su lugar, se seleccionaron para cada región las referencias con mejor calidad de datos en relación a la cobertura inundable observada. Esta selección específica buscó reducir el ruido causado por capas no ajustadas y mejorar la precisión de la clasificación.

Referencia	Fuente
Mapa Global de Humedales Producido por el Programa de Mitigación y Adaptación Sostenible de Humedales (SWAMP)	Gumbrecht, T.; Román-Cuesta, R.M.; Verchot, L.V.; Herold, M.; Wittmann, F.; Householder, E.; Herold, N.; Murdiyarto, D., 2017, "Tropical and Subtropical Wetlands Distribution", <a href="https://doi.org/10.17528/CIFOR/DATA.00058">https://doi.org/10.17528/CIFOR/DATA.00058</a> . Center for International Forestry Research (CIFOR), V7 <a href="https://www2.cifor.org/global-wetlands/">https://www2.cifor.org/global-wetlands/</a>
AR Flooded Wetlands and Vegetation, Amazon Basin: 1995–1996. ORNL Distributed Active Archive Center	Hess LL, Melack JM, Novo EMLM, Barbosa CCF, Gastil M. LBA-ECO LC-07 JERS-1 S; 2015.
Mapa global de humedales a partir de imágenes de aguas superficiales y limitaciones de aguas subterráneas.	Tootchi, Ardalán; Jost, Anne; Ducharme, Agnès (2018): Multi-source global wetland maps combining surface water imagery and groundwater constraints. Sorbonne Université, Paris, France, PANGAEA, <a href="https://doi.org/10.1594/PANGAEA.892657">https://doi.org/10.1594/PANGAEA.892657</a> <a href="https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.892657?format=html#download">https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.892657?format=html#download</a>
Global high-resolution floodplains (GFPLAIN250m)	Nardi, F. et al. GFPLAIN250m, a global high-resolution dataset of Earth's floodplains. Sci. Data. 6:180309 doi: 10.1038/sdata.2018.309 (2019). <a href="https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world">https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world</a>
Ecosistemas terrestres (WWF)	<a href="https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world">https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world</a>
Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. Amazonian floodplain forests. Springer	Melack JM, Hess LL; 2010. pp. 43–59
A classification of major naturally-occurring amazonian lowland wetlands. Wetlands.	Junk WJ, Piedade MTF, Schöngart J, Cohn-Haft M, Adeney JM, Wittmann F 2011;31: 623–640.
AR Flooded Wetlands and Vegetation, Amazon Basin: 1995–1996. ORNL Distributed Active Archive Center	Hess LL, Melack JM, Novo EMLM, Barbosa CCF, Gastil M. LBA-ECO LC-07 JERS-1 S; 2015.
Mapa de humedales de Colombia	Colombia en mapas - Flórez-Ayala, C., Estupiñán-Suárez, L. M., & Aponte, C. Memoria técnica cartografía de humedales del país a escala 1: 100.000.
Cobertura de la Tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Periodo 2018. República de Colombia. Escala 1:100.000. Año 2021	IDEAM, SINCHI, PNN <a href="http://geoservicios.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search.jsessionid=97B6F80606F3D7E735B92FA7456F174E#/metadata/285c4d0a-6924-42c6-b4d4-6aef2c1aceb5">http://geoservicios.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search.jsessionid=97B6F80606F3D7E735B92FA7456F174E#/metadata/285c4d0a-6924-42c6-b4d4-6aef2c1aceb5</a>
Ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia	IDEAM, 2017 <a href="http://www.ideam.gov.co/web/siac/catalogo-de-mapas">http://www.ideam.gov.co/web/siac/catalogo-de-mapas</a>

**Tabla 1.** Capas de referencia utilizadas para el proyecto. Fuente: Adaptado de MapBiomás C2, 2022.



**Figura 3** - Delimitación de regiones de clasificación a partir de mapas de referencia. Fuente: Elaboración propia. En total se generaron 55 regiones de clasificación para el territorio colombiano, de estas 19 corresponden al bioma amazónico, 13 al andino, 7 al caribeño, 7 a la orinoquía, 6 al pacífico y 3 a los insulares.

## 2.4 Selección de variables de clasificación

A partir de los mosaicos regionales generados, se realizaron pruebas preliminares de clasificación que permitieron reducir el número de variables necesarias para generar la clasificación definitiva. Con base en los resultados de estas pruebas también se incluyeron en el proceso de clasificación los indicadores

espectrales Tasseled Cap<sup>3</sup> (T-cap brightness, T-cap greenness y T-cap wetness), y las bandas topográficas (altitud, pendiente, slppost) derivadas del modelo de elevación SRTM. Estos datos adicionales son útiles en la detección de distintos estadios fenológicos y tipos de vegetación. En total se utilizaron 26 variables para implementar la clasificación. El detalle de cada una se muestra en la tabla 2 a continuación.

Banda	Descripción	Reductor
blue	Valor de la banda azul	Mediana
green	Valor de la banda verde	Mediana
red	Valor de la banda roja	Mediana
nir	Valor de la banda infrarrojo cercano (NIR)	Mediana
swir1	Valor de la banda SWIR1	Mediana
swir2	Valor de la banda SWIR2	Mediana
ndfi	Índice de fracción de diferencia normalizada	Mediana
ndfib	Adaptación del NDFI para los Andes	Mediana
gv	Abundancia fraccional de vegetación verde	Mediana
gvs	Vegetación verde normalizada por sombra	Mediana, Percentil 25% más seco
npv	Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética	Mediana
shade	Abundancia fraccional de sombra dentro	Median
evi2	Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI)	Mediana, Percentil 25% más seco
ndvi	Índice de vegetación de diferencia normalizada	Mediana, Percentil 25% más seco
ndwi_gao	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	Mediana, Percentil 25% más seco
ndwi_mcfeeters	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeeters)	Mediana
mndwi	Índice de agua de diferencia normalizada	Mediana
savi	Índice de vegetación ajustada al suelo	Mediana, Percentil 25% más seco
sefi	Índice de fracción del ecosistema de sabana	Mediana, Percentil 25% más seco
mmri	Índice de Reconocimiento Modular de Manglares	Mediana
T-cap brightness*	Tasseled Cap que ajusta valores de brillo en suelo	
T-cap greenness	Tasseled Cap que ajusta valores de verdor en vegetación	
T-cap wetness	Tasseled Cap que ajusta valores de humedad	
slope	Pendiente	
slppost	Pendiente estratificada	
altitude	Altitud	

**Tabla 2.** Variables para la clasificación de coberturas inundables de la Colección 1. Fuente: MapBiomás Colección 4, 2022. \*Kauth, R. J. and Thomas, G. S. (1976) desarrollaron coeficientes que realzan la información contenida en las bandas espectrales (Landsat) y generaron fórmulas a las que se refirieron como "Tasseled Cap" (TC), representadas en tres bandas: Brightness (brillo) está asociado a las variaciones de reflectancia del suelo, Greenness (verdor) está correlacionado con el vigor de la vegetación, y Wetness (Humedad) está influido por las bandas en el IR medio y tiene que ver con la humedad vegetal y del suelo (Kauth & Thomas, 1976)

<sup>3</sup> La transformación Tasseled Cap es un método que permite obtener tres indicadores espectrales (brightness, greenness y wetness) a partir de la combinación lineal de las bandas de un satélite. Para el caso de los sensores Landsat, los indicadores Tasseled Cap se calculan utilizando 6 bandas (se excluye la banda térmica). Para este trabajo, el cálculo de los indicadores Tasseled Cap se realizó utilizando las bandas visibles de los mosaicos generados previamente siguiendo lo descrito en el apartado 3.1

## 2.5 Muestras de entrenamiento

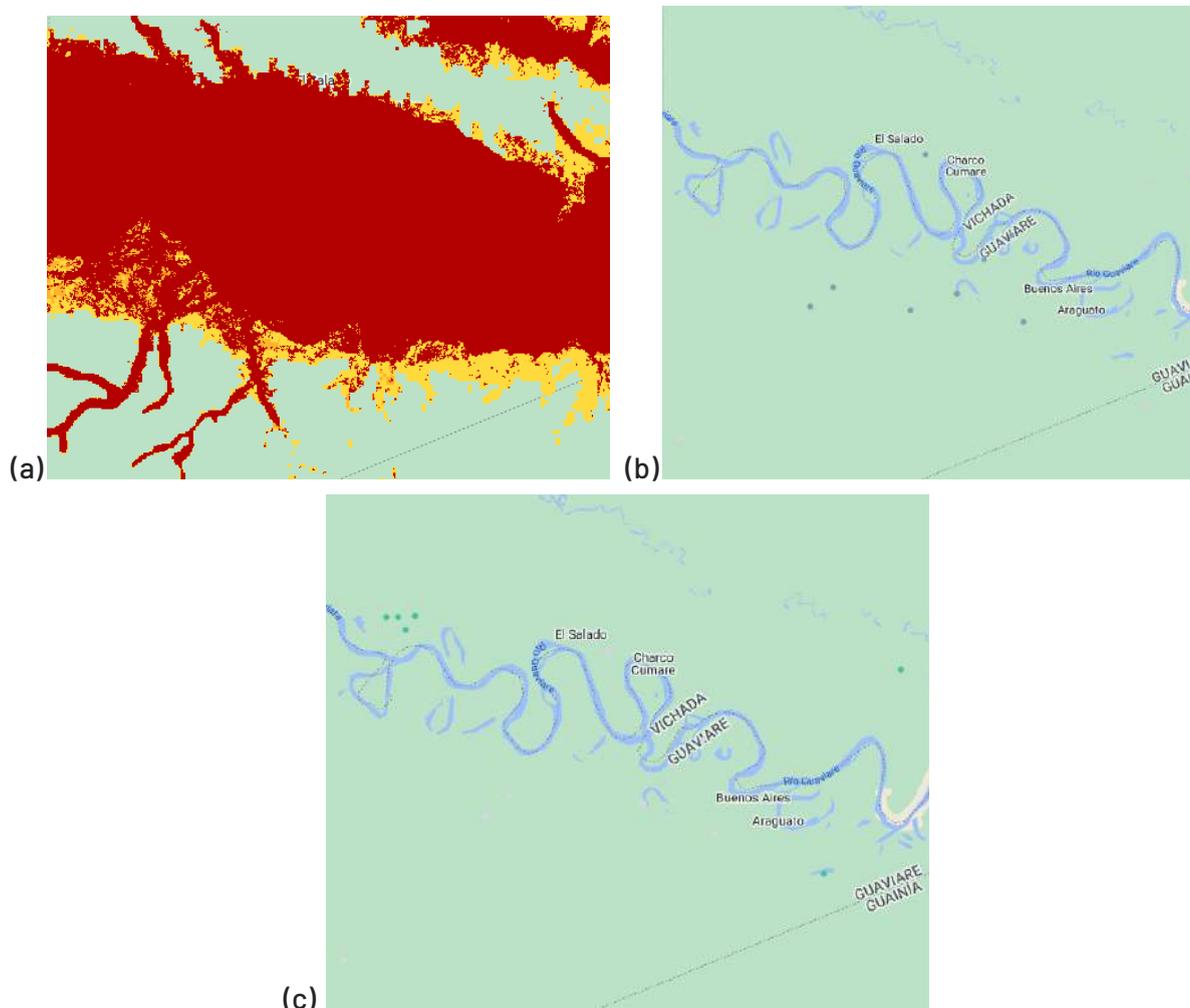
Las muestras de entrenamiento utilizadas para la clasificación se generaron sobre los mapas de referencia de coberturas inundables. En la tabla 3, se realiza un conteo de las referencias utilizadas versus las regiones para ambas clases de estudio.

Referencia	Regiones de Bqln	Regiones de FNnFI
Cifor-2017 Mapa Global de Humedales Producido por el Programa de Mitigación y Adaptación Sostenible de Humedales (SWAMP)	10	1
AR Flooded Wetlands and Vegetation, Amazon Basin: 1995-1996. ORNL Distributed Active Archive Center	3	0
Mapa global de humedales a partir de imágenes de aguas superficiales y limitaciones de aguas subterráneas.	0	1
Global high-resolution floodplains (GFPLAIN250m)	30	11
Mapa de humedales de Colombia	37	49
Muestras acumuladas Col1	31	29
Muestras estables Col6 Amazonía	2	0
Muestras acumuladas Col 1 y 6	6	14
Sin formación inundables	18	6

**Tabla 3.** Fuentes de referencia de formación no forestal en humedales. Fuente: Elaboración propia.

El análisis detallado de las referencias utilizadas permitió determinar que varias regiones no contaban con coberturas inundables. En el caso de los bosques inundables (Bql), se identificó una ausencia de cobertura en el 32,7% de las regiones, mientras que la formación natural no forestal inundable (FNnFI) presentó un 10,9% de ausencia en las regiones analizadas. Una particularidad clave en el proceso de clasificación fue la contribución de los mapas de referencia nacionales, publicados por el Instituto Humboldt, que incluyeron el mapa de identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia (Flórez et al., 2016) y el mapa de clasificación de humedales de Colombia (Ricaurte et al., 2019). Estos mapas aportaron significativamente al entrenamiento del algoritmo de clasificación, mejorando la precisión en la identificación de las clases inundables.

Para cada región con presencia de las clases, el proceso de sorteo de muestras se realizó basándose en la capa de referencia nacional, muestras estables de la colección 1 de Colombia y colección 6 de Amazonía, así mismo, se complementó con las muestras acumuladas de las mismas colecciones, este mapeo mejoró considerablemente respecto a la colección pasada, dado que las muestras de entrenamiento fueron de mejor calidad. (Figura 4).



**Figura 4.** Muestras de entrenamiento: (a) composición de la máscara de referencia para muestras de entrenamiento, en este caso se usaron referencia de la Col 1, Cifor, GFP, referencia nacional y Muestras acumuladas Col 1 y 6 (b) muestras sorteadas aleatoriamente para cobertura de Bnl y (c) muestras sorteadas aleatoriamente para cobertura de FNNFI. Fuente: MapBiomás Colección 2, 2023.

### 3 Clasificación

A partir de los mosaicos seleccionados (ver apartado anterior de este manual) se realizó una clasificación supervisada basada en el algoritmo de Bosques Aleatorios (En inglés, Random Forests; (Breiman, 2001). El procesamiento se desarrolló por completo en la plataforma Google Earth Engine y los resultados se almacenaron como colección de imágenes en la misma plataforma. La detección de coberturas se enfocó en la identificación de las dos principales clases presentes en las zonas de inundación de la región: Bosque inundable (ID 6) y Formación natural no forestal inundable (sabana, herbazales naturales) (ID 11).

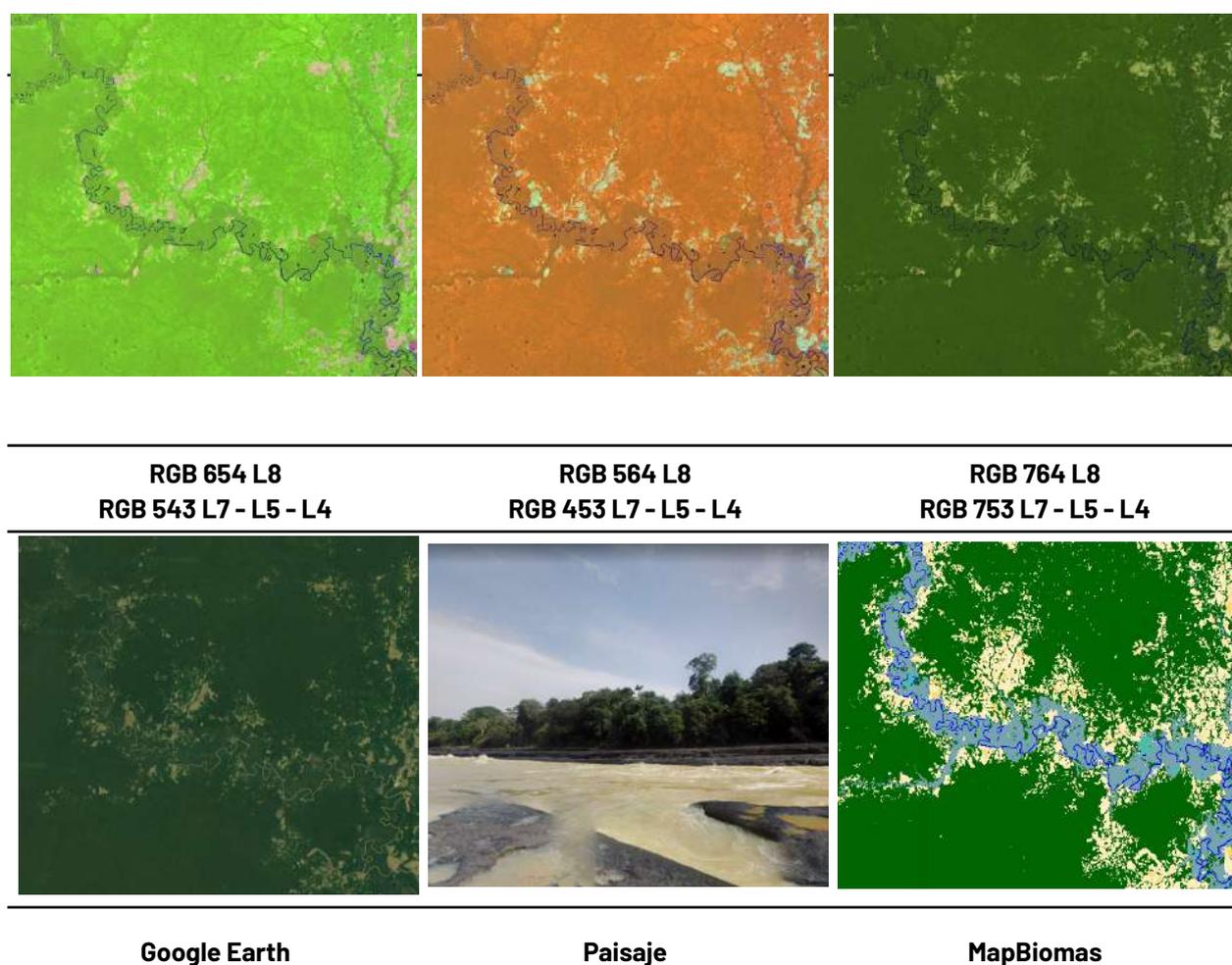
El proceso de clasificación se realizó por separado para ambas coberturas, considerando sólo dos clases posibles en cada caso, la clase de interés (bosque inundable o formación no forestal inundable) y la clase No observado (todo lo diferente a la clase de interés).

### 3.1 Clases identificadas

#### 3.1.1 Bosque Inundable - (ID 6)

Para este trabajo se definió como bosque inundable en términos generales toda el área continua de cobertura predominantemente arbórea natural mayor a media hectárea (circa > 6 píxeles Landsat o 0.5 ha) inundada estacional o permanentemente. El concepto toma en cuenta las referencias bibliográficas nacionales y regionales (Carrera et al., 2009; IDEAM et al., 2017; Wittmann et al., 2011). Sin embargo, no todos los bosques inundables en Colombia son iguales, por lo tanto se estructuraron definiciones por bioma:

Amazonía: Cobertura boscosa con altura de dosel superior a 5 m, presente en áreas cercanas o adyacentes a los cuerpos de agua, caracterizada por especies vegetales que soportan estacionalmente (4-8 meses al año) o permanentemente condiciones de anegación, contando con humedad en el suelo durante la mayor parte del año. Se encuentran generalmente en los planos de inundación de los valles y planicies aluviales (Figura 5).



**Figura 5.** Respuesta Espectral Bosque inundable en el bioma Amazonía. Puerto Palermo, Guaviare, Año: 2021, Escala: 2km, Coordenadas: -72.134490 W, 1.391949 N. (Leyenda  BqIn)

**Caribe:** Las coberturas boscosas presentes en las riberas de los ríos incluyen vegetación en distintos estratos, destacándose la formación de plantas leñosas o arbóreas con alturas a partir de los 3 metros. Estas formaciones se caracterizan por establecerse a lo largo de riberas de ríos con inundaciones temporales o permanentes y, debido a su orografía poco accidentada, también se les conoce como bosques de galería, aunque no todos los bosques de galería pertenecen a esta categoría (Figura 6).



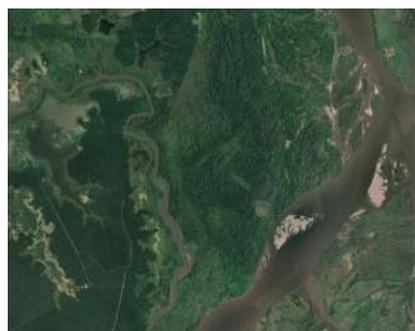
**RGB 654 L8  
RGB 543 L7 - L5 - L4**



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



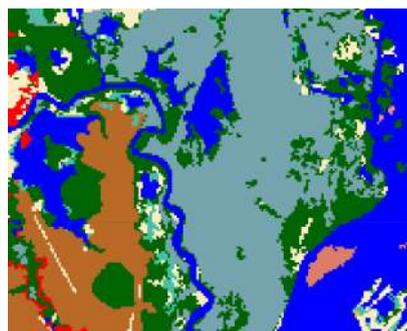
**RGB 764 L8  
RGB 753 L7 - L5 - L4**



**Google Earth**



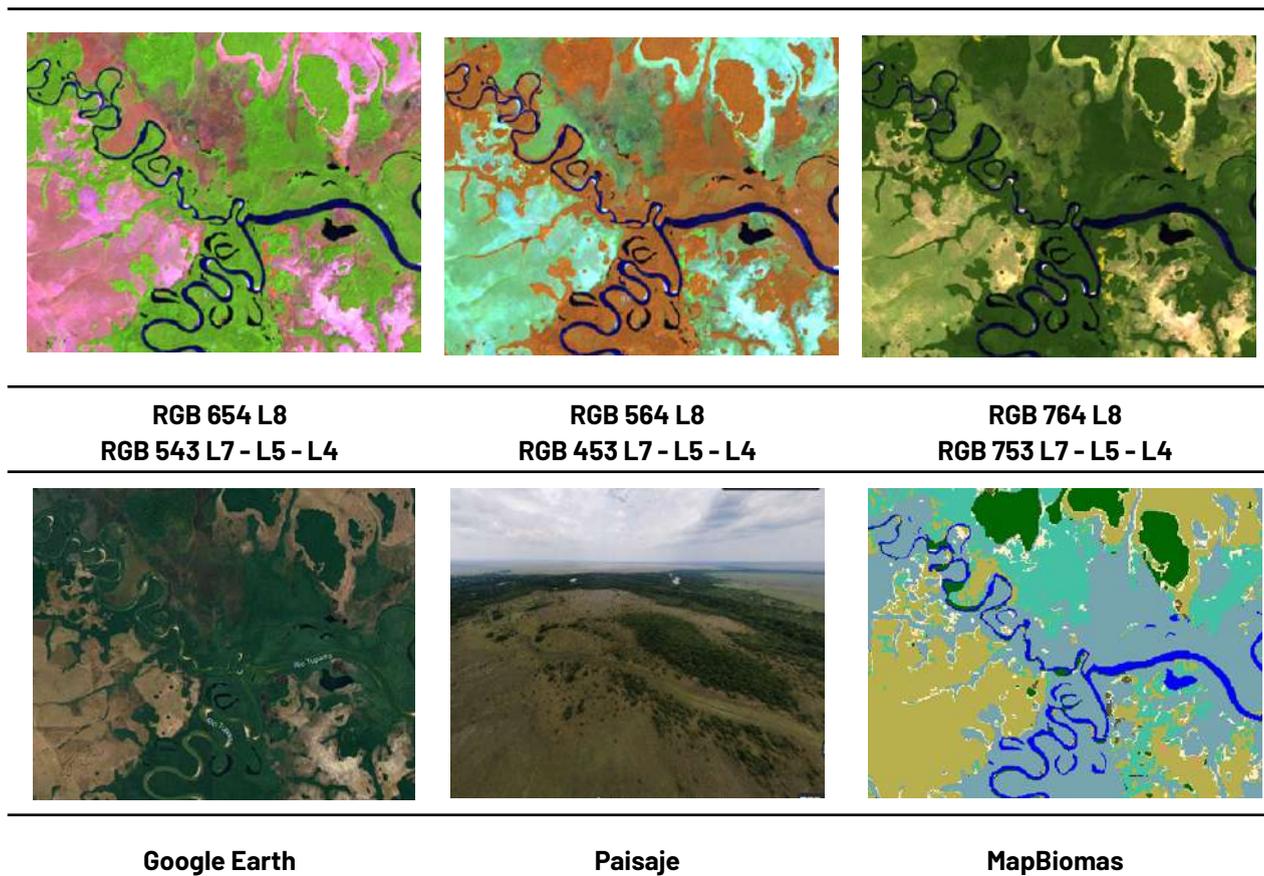
**Paisaje**



**MapBiomas**

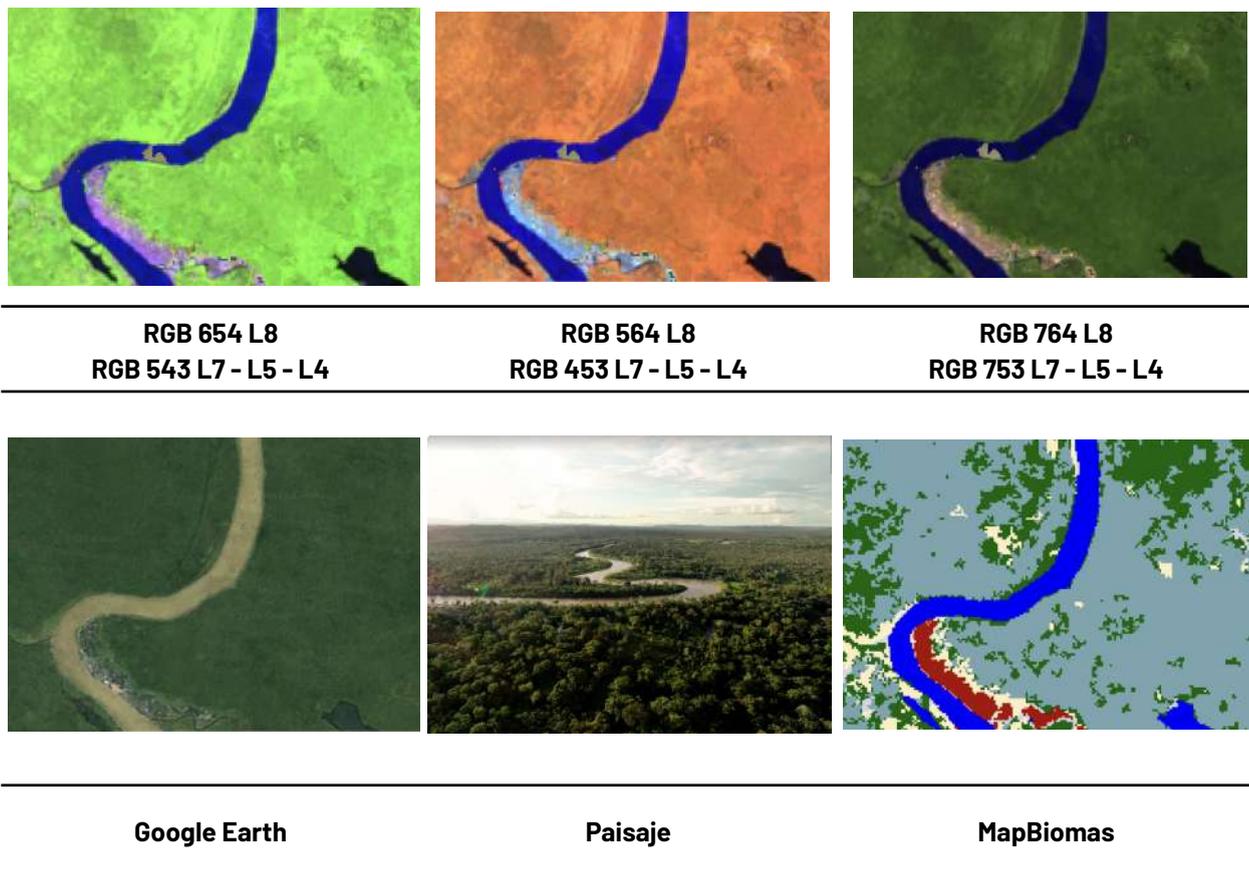
**Figura 6.** Respuesta Espectral de la clase Bosque Inundable en el bioma Caribe. Río Magdalena, Límites entre Bolívar y Santander, Año: 2022, Escala: 200m, Coordenadas: -73.82262 W, 7.76953 N (Leyenda  BqIn)

**Orinoquía:** Las coberturas boscosas presentes en las riberas de los ríos incluyen vegetación en varios estratos, con predominio de plantas leñosas o arbóreas que alcanzan alturas superiores a los 3 metros. Estas formaciones se establecen a lo largo de ríos con inundaciones temporales o permanentes. Debido a su ubicación en terrenos de orografía poco accidentada, suelen denominarse "bosques de galería"; sin embargo, no todos los bosques de galería son necesariamente inundables. En el Pacífico colombiano, estas formaciones boscosas inundables se manifiestan en comunidades vegetales especializadas como los sajales y guandales, compuestas por especies que han desarrollado adaptaciones para sobrevivir en condiciones edáficas de alta inundabilidad y fluctuaciones hídricas extremas (Figura 7).



**Figura 7.** Respuesta Espectral de los bosques inundables en el bioma Orinoquía. Río Tuparro, Cumaribo - Vichada, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -68.04943 W, 5.21289 N (Leyenda BqIn)

**Pacífico:** Coberturas boscosas presentes en las riberas de los ríos, esta comprende vegetación en diferentes estratos, destacando la formación de plantas leñosas o arbórea con alturas desde los 3 metros en adelante, esta se caracteriza por establecerse en las riberas de los ríos temporales o permanentes, por su orografía poco accidentada esta formación también es conocida como bosques de galería aunque no implica que todos los bosques de galería sean inundables, del mismo modo, en el pacífico colombiano se pueden encontrar formaciones inundables como los sajales y los guandales, que son especies coetáneas que subsisten bajo estas condiciones edáficas de alta inundabilidad (Figura 8).

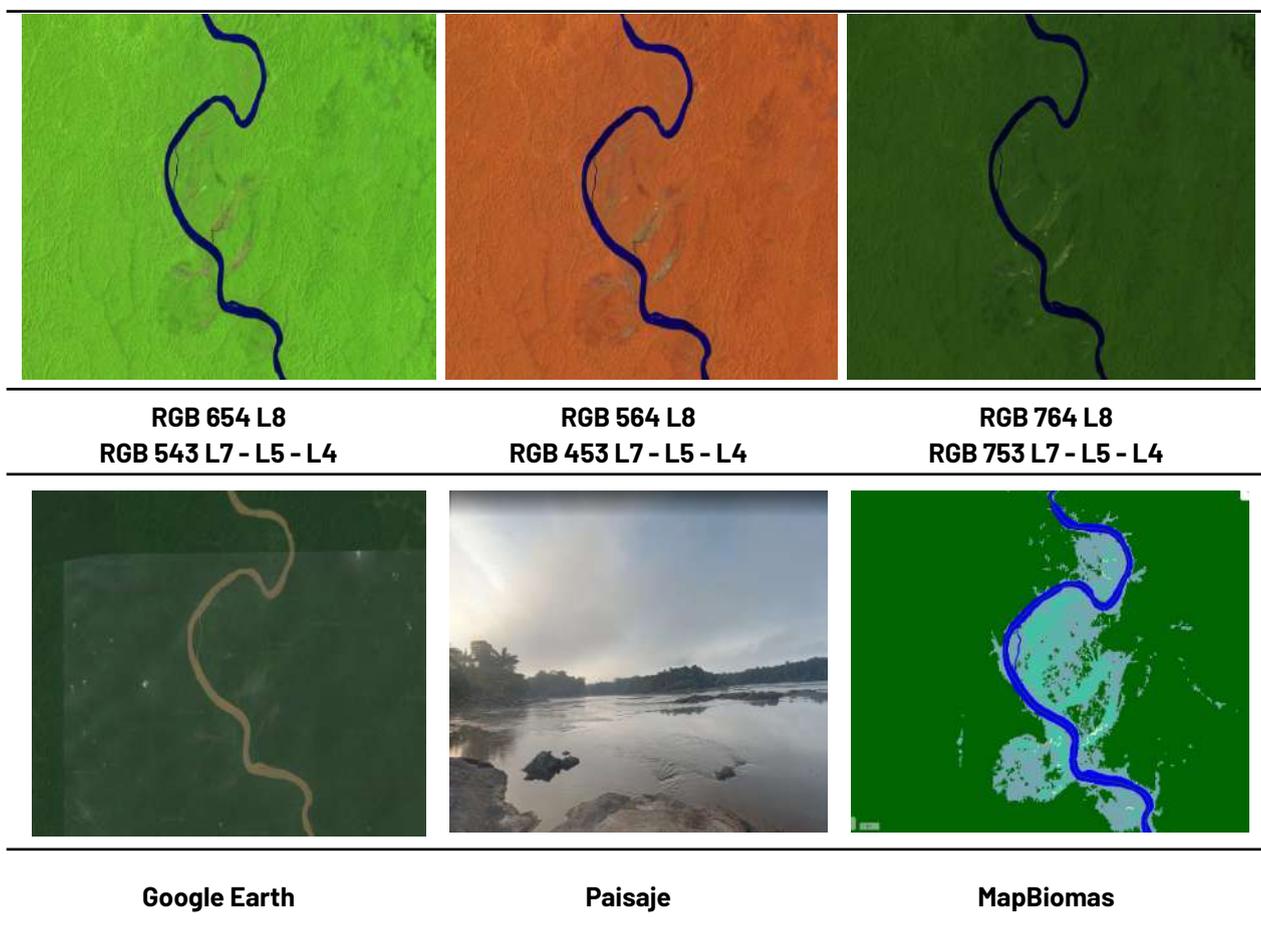


**Figura 8.** Respuesta Espectral Bosque Inundable en el bioma Pacífico. Río Atrato, Ríosucio - Antioquia, Año: 2018, Escala: 500 m, Coordenadas: -77.10302 W, 7.45646 N (Leyenda  BqIn)

### 3.1.2 Formación Natural No Forestal Inundable - (ID 11)

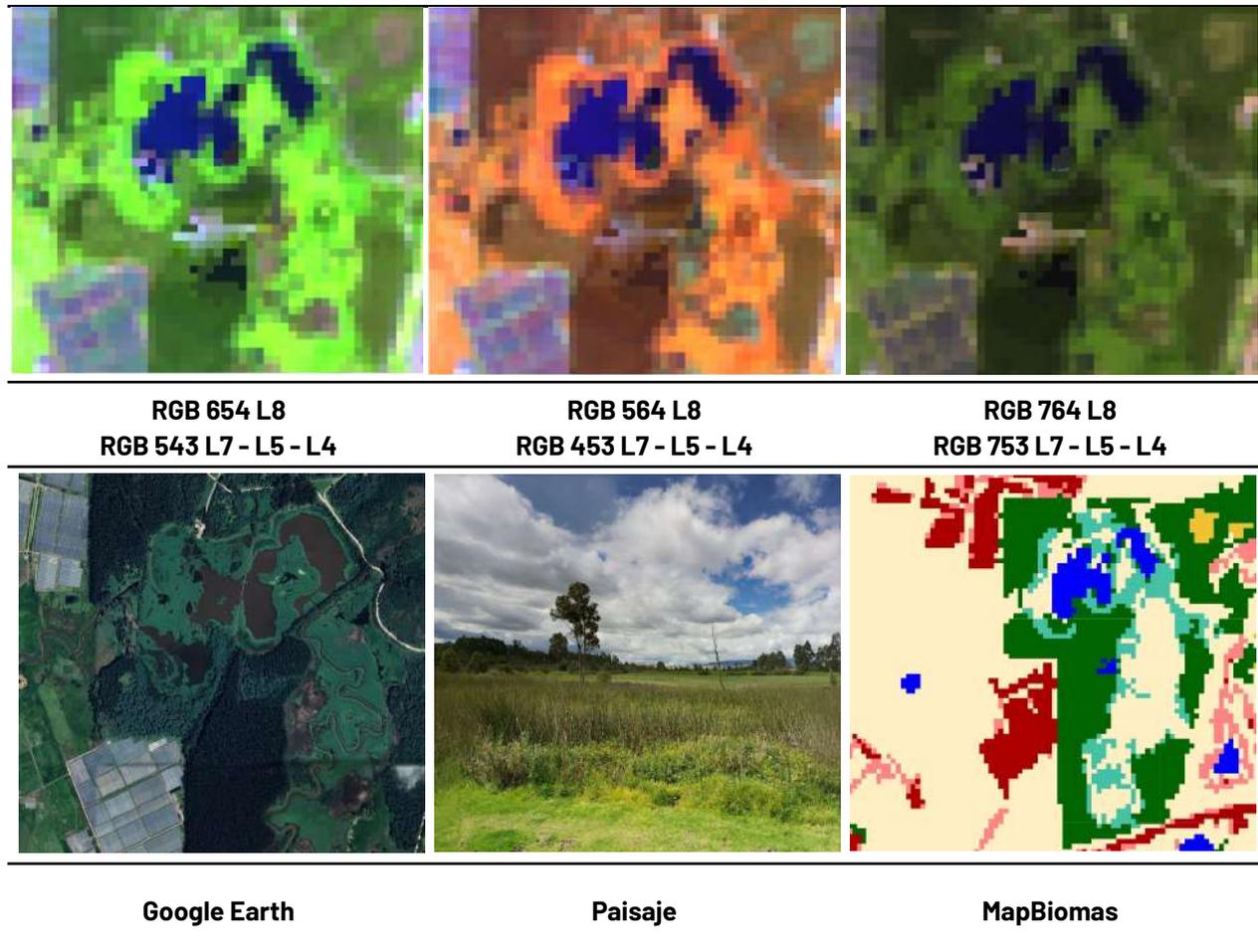
La formación natural no forestal inundables clasificada en este proyecto considera todas las áreas de vegetación natural herbácea o arbustiva sujetas a inundaciones periódicas o permanentes. Para dicha definición se tomaron en cuenta fuentes como el Instituto Sinchi (2009); Wittmann et al. (2002) y MINAM (2019); Al igual que los bosques inundables, se estructuró una definición específica por bioma, las cuales se detallan a continuación:

**Amazonía:** Cobertura de vegetación natural predominantemente herbácea (más del 70%) o arbustiva (entre el 30% y 50%) en suelos hidromórficos permanentemente sobresaturados, que pueden quedar cubiertos por una lámina de agua durante los períodos de lluvia, los cuales se extienden de 4 a 8 meses al año. Esta vegetación puede incluir algunos elementos arbóreos dispersos en forma de parches o "matas de monte" y áreas con comunidades de palmas o "morichales", sin que estos superen en conjunto el 10% de la cobertura total. Este tipo de vegetación se encuentra principalmente en los planos de inundación de los valles y en las planicies aluviales. (Figura 9).



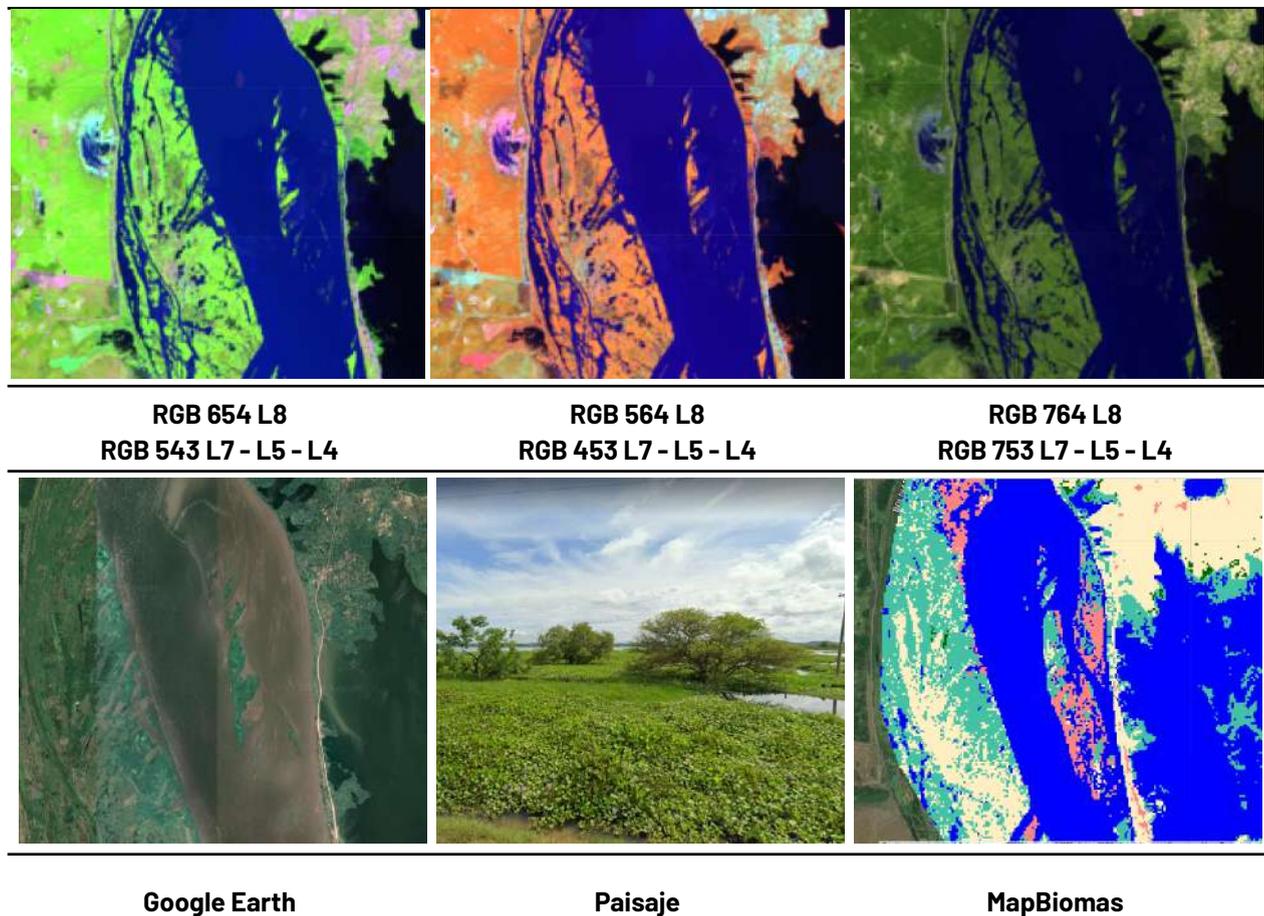
**Figura 9.** Respuesta Espectral Formación Natural No Forestal Inundable en el bioma Amazonía. Río Apaporis, límite entre Vaupés y Amazonas, Año: 2021, Escala: 1km, Coordenadas: -70.91985 W, -0.16152 (Leyenda FNnFI)

**Andes:** Esta cobertura se encuentra en terrenos bajos de tipo pantanoso, de textura esponjosa, cuyo suelo está compuesto principalmente por musgos y materias vegetales descompuestas (comúnmente llamadas turberas) que se sitúan por encima de los 3.200 msnm (Figura 10). También se incluye la vegetación herbácea establecida en zonas pantanosas cercanas a cuerpos de agua, y aquellas especies vegetales naturales que cubren de forma parcial o total la lámina de agua, como es el caso de lagos y lagunas andinas en proceso de eutrofización (IDEAM et al., 2017)



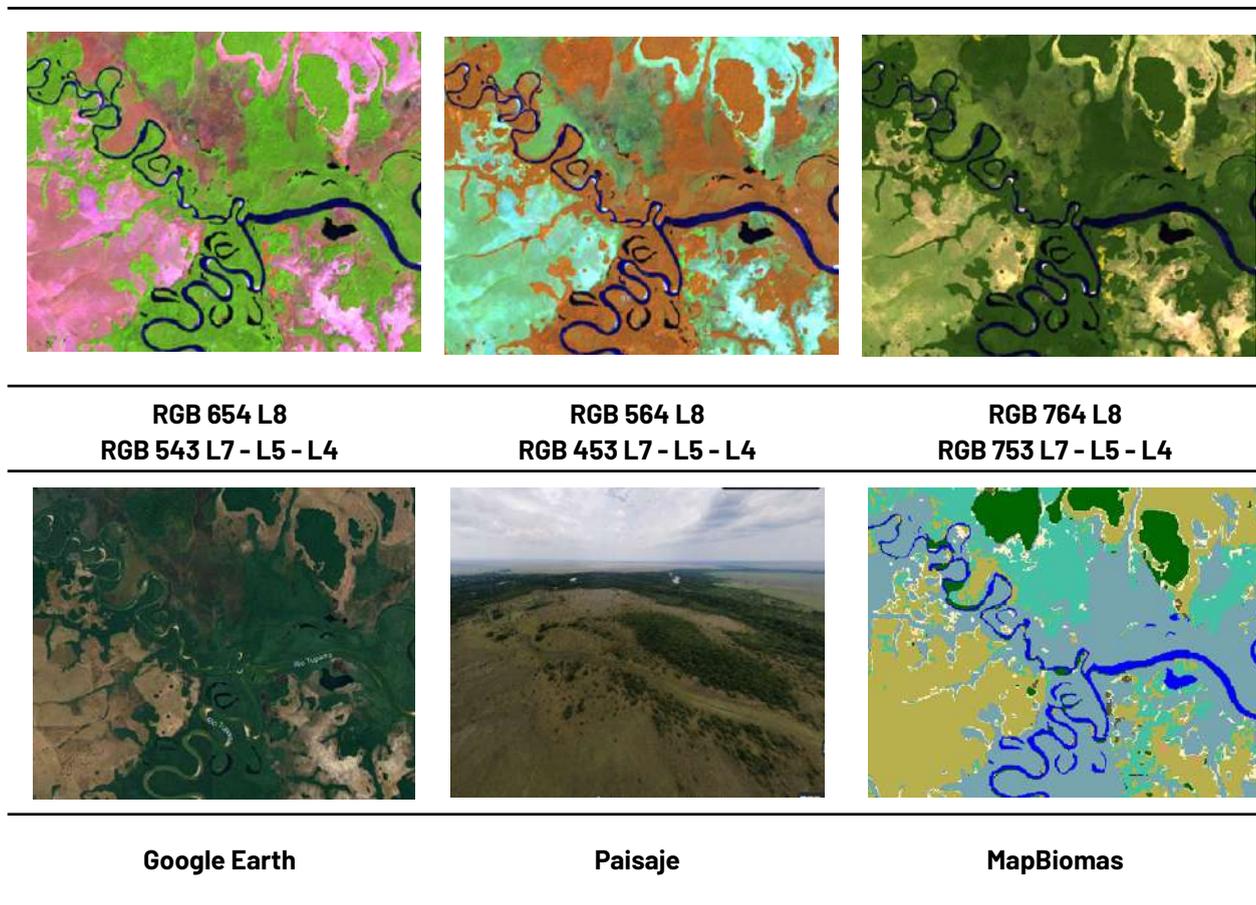
**Figura 10.** Respuesta espectral de Formación Natural no Forestal Inundable en el bioma Andes. Sopó, Cundinamarca, Año: 2021, Escala: 200 m, Coordenadas: -73.98374 W, 4.95135 N. (Leyenda ■ FNnFII)

**Caribe:** Este tipo de coberturas se constituyen por vegetación herbácea y, en menor medida, arbustiva localizada en zonas asociadas con deltas de ríos, estuarios, ciénagas, lagunas costeras y planicies marinas de inundación, así como en las madres viejas o ríos que cambiaron su cauce (Figura 11). También se pueden encontrar en las áreas costeras bajas donde la vegetación se ha adaptado a los ambientes salobres debido a la influencia de las mareas (IDEAM et al., 2017).



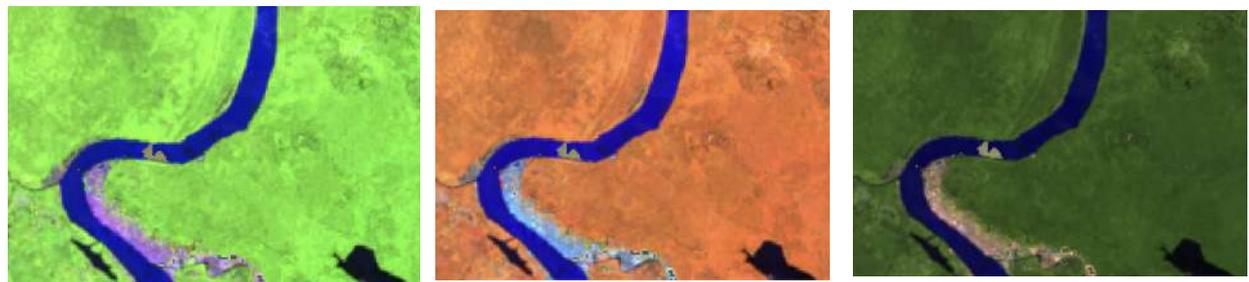
**Figura 11.** Respuesta Espectral de la clase Formación Natural No Forestal Inundable en el bioma Caribe . Ciénaga Zurra, Tenerife Magdalena, Año: 2022, Escala: 500 m, Coordenadas: -74.85062 W, 9.86896 N. (Leyenda ■ FNnFI)

**Orinoquía:** Vegetación herbácea, mayormente gramíneas, sujeta a inundaciones permanentes o temporales (al menos una vez al año) de acuerdo con los pulsos naturales de inundación, se localizan generalmente en zonas bajas, que pueden estar constituidas por zonas de divagación de cursos de agua, llanuras de inundación, antiguas vegas de divagación y depresiones naturales donde la capa freática aflora de manera permanente o estacional (Figura 12). Puede presentar algunos elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos (IDEAM,2010, Fundación Gaia Amazonas, 2022).



**Figura 12.** Respuesta Espectral de los bosques inundables en el bioma Orinoquía. Río Tuparro, Cumaribo - Vichada, Año: 2021, Escala: 1000 m, Coordenadas: -68.04943 W, 5.21289 N. (Leyenda  FNnFI)

**Pacífico:** Áreas con predominio de vegetación natural herbácea que puede presentar algunos elementos arbóreos en menor medida, áreas con comunidades de palmas o “morichales”, dispersos, que en ningún caso superan el 10% (Figura 13). Se encuentran generalmente en los planos de inundación de los valles y planicies aluviales (IDEAM,2010).



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

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

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



**Google Earth**

**Paisaje**

**MapBiomias**

**Figura 13.** Respuesta Espectral Bosque Inundable en el bioma Pacífico. Río Atrato, Riosucio - Antioquia, Año: 2018, Escala: 500 m, Coordenadas: -77.10302 W, 7.45646 N (Leyenda ■ FNnFI)

## 4 Post-clasificación

Debido a la naturaleza basada en píxeles del método de clasificación y el trabajo sobre una serie temporal extensa, se aplicó una cadena de filtros de post-clasificación. El proceso de post clasificación incluye la aplicación de filtros de llenado de vacíos de información, temporal, espacial y de frecuencia.

### 4.1 GAP FILL (Llenado de vacíos de información)

La secuencia de filtros comienza con el relleno de vacíos de información. En una serie de tiempo extensa de regiones severamente afectadas por la presencia de nubes, es común que se presenten vacíos en los resultados de la mediana. Este filtro reemplaza dichos vacíos con la clasificación temporalmente más cercana (Figura 14). En este procedimiento, si no existe un valor disponible del año anterior, el espacio se completa con el valor del año siguiente. Por lo tanto, las brechas solo deberían existir si un píxel ha sido clasificado de manera permanente como "sin información" en toda la serie temporal.

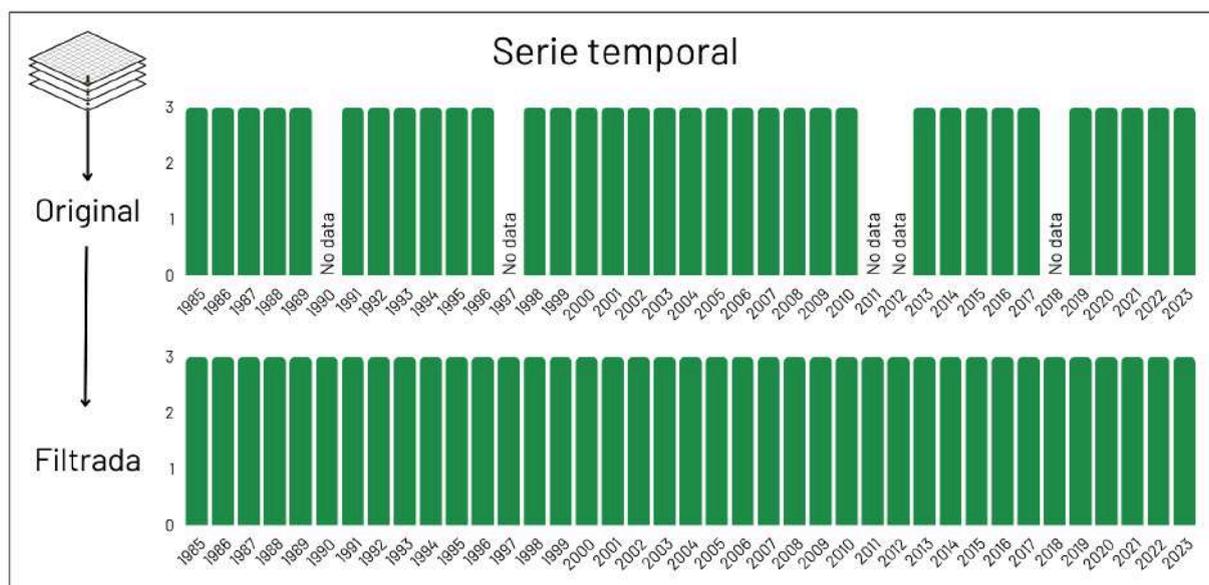


Figura 14. Filtro de relleno de vacíos. Fuente: MapBiomias Colección 2, 2024

### 4.2 Filtro temporal

Después del proceso de llenado de vacíos, se aplicó un filtro temporal para eliminar el ruido o efecto "sal y pimienta." Este filtro reemplaza los píxeles que presentan inconsistencias en la clasificación de coberturas, causadas por cambios graduales año tras año o por la falta o distorsión de información en un mosaico. El filtro temporal utiliza tres tipos de filtros: filtro de año intermedio, filtro de primer año y filtro de último año, aplicados en una ventana móvil unidireccional de 3, 4 o 5 años para identificar transiciones temporalmente incoherentes. Basado en reglas generales (RG), aplicadas a todos los años intermedios de la serie (1986-2022); reglas de primer año (RP), aplicadas a 1985; y reglas de último año (RU), aplicadas a 2023, el

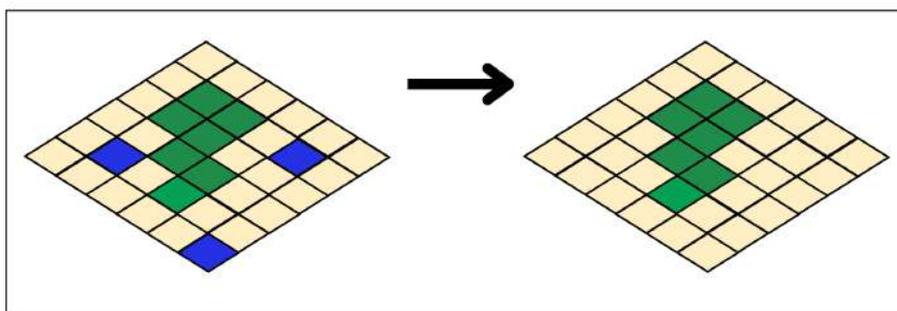
filtro temporal examina el año de interés y reclasifica el píxel central según se indica en la Tabla 4.

	Secuencia de ingreso					Secuencia de salida				
	T-2	T-1	T0	T+1	T+2	T-2	T-1	T0	T+1	T+2
RG		Bi/Fi	No	Bi/Fi			Bi/Fi	Bi/Fi	Bi/Fi	
	Bi/Fi	No	No	Bi/Fi	Bi/Fi	Bi/Fi	No	Bi/Fi	Bi/Fi	Bi/Fi
RP			No	Bi/Fi	Bi/Fi			Bi/Fi	Bi/Fi	Bi/Fi
RU	Bi/Fi	Bi/Fi	No			Bi/Fi	Bi/Fi	Bi/Fi		

**Tabla 4.** Reglas de aplicación de filtro temporal y resultados. Fuente: MapBiomass Colección 4, 2022. Donde RG es una regla general, aplicada a todos los años intermedios (1986 - 2022); RP es una regla de primer año, aplicada solo al año 1985; y RU es una regla de último año, aplicada al año 2023. T0 es el año sobre el cual es aplicado el filtro, T-n los años anteriores, y T+n, los años posteriores. Bi: Bosque inundable. Fi: Formación natural no forestal inundable, No: No observado.

### 4.3 Filtro espacial

El filtro espacial se basa en la función "Connected Pixel Count," que identifica conjuntos de píxeles conectados (vecindarios) que comparten el mismo valor, eliminando así el efecto de "sal y pimienta." Esto permite corregir errores residuales de la clasificación y mejorar la precisión en los detalles del mosaico. Solo los píxeles que no cumplen con una cantidad mínima predefinida de conexiones son considerados como aislados y se reclasifican (Figura 15). Para ambas clases, se estableció una conexión mínima de 6 píxeles (aproximadamente 0.5 ha)..



**Figura 15.** Efecto de la aplicación del filtro espacial. Fuente: MapBiomass Colección 2, 2024

### 4.4 Filtro de frecuencia

Otro filtro utilizado en la secuencia fue el filtro de frecuencia. Como se muestra en la Figura 16, este filtro considera la ocurrencia de cada clase a lo largo de la serie temporal para depurar el resultado de la clasificación.

Por una parte, este filtro ayudó a completar clasificaciones en áreas afectadas por nubes, donde el filtro temporal no logró recuperar la información. Para la clase de Formación Natural No Forestal Inundable, caracterizada por su alta variabilidad de humedad a lo largo del tiempo (con aumento y reducción de superficie inundada), se aplicó un filtro de 80%. Esto significa que

los vacíos de información fueron rellenados sólo si la clase mostró una persistencia temporal de al menos 29 años. En el caso del Bosque Inundable, el filtro fue un poco más flexible (60%) debido a la mayor estabilidad de esta cobertura en el tiempo y su buena detección en la mayoría de las regiones.

Por otra parte, el filtro de frecuencia también se ajustó para identificar y eliminar ruidos temporales y clasificaciones erróneas. A diferencia de los valores aplicados en la fase anterior, aquí se excluyeron de la clasificación los píxeles de *Formación Natural No Forestal Inundable* con menos del 20% de frecuencia en la serie temporal, mientras que, para Bosque Inundable, se eliminaron los píxeles con una frecuencia inferior al 40%.

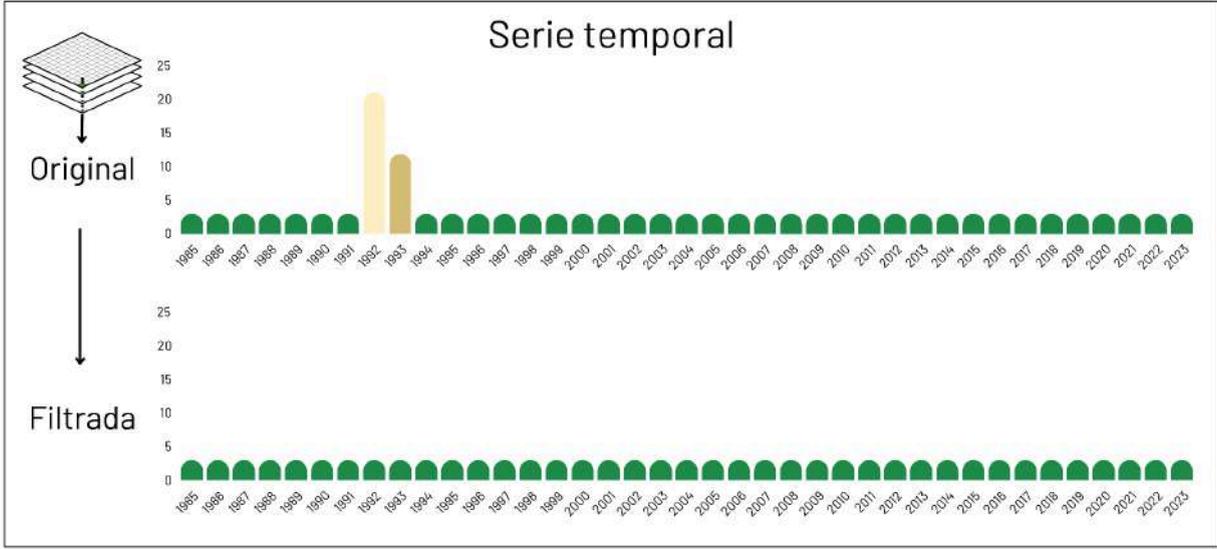


Figura 16. Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia. Fuente: MapBiomias Colección 2, 2024.

## 5 Referencias

- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Carrera, E. R., García, U. G. M., Huertas, C. M., Rodríguez, J. M., & Castellanos, H. O. (2009). *Fichas técnicas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI".
- CIFOR. (s.f.) Global Wetlands Map. Sustainable Wetlands Adaptation and Mitigation Program (SWAMP). [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/articles/AGumbricht1701.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/AGumbricht1701.pdf)
- Crist, E. P., & Cicone, R. C. (1984). Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data. *Photogrammetric engineering and Remote sensing*, 50(3), 343–352.
- de Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2006). *Valuing wetlands: Guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services* (Número H039735). International Water Management Institute. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:iwt:rerpts:h039735>
- Flórez, C., Estupiñán-Suárez, L. M., Rojas, S., Aponte, C., Quiñones, M., Acevedo, Ó., Vilarity, S., & Villa, Ú. J. (2016). Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. *Biota Colombiana*, 17, 44–62.
- Hess LL, Melack JM, Novo EMLM, Barbosa CCF, Gastil M. LBA-ECO LC-07 JERS-1 S. AR Flooded Wetlands and Vegetation, Amazon Basin: 1995–1996. ORNL Distributed Active Archive Center; 2015.
- Hu et al. - 2017 - Global Wetland Datasets a Review. *Wetlands* 37(5).
- Hu, S., et al. (2017), Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status, *Sci Total Environ*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001>.
- IDEAM, M., IAvH, I., IIAP, S., & PNN, I. (2017). Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia a escala 1: 100.000. Bogotá, DC, Colombia.
- Kauth, R. J., & Thomas, G. (1976). *The tasselled cap—A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat*. 159.
- Lasso et al. (2014). Humedales de la Orinoquia (Colombia- Venezuela). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Maltby, E., Acreman, M., Blackwell, M. S. A., Everard, M., & Morris, J. (2013). The challenges and implications of linking wetland science to policy in agricultural landscapes – experience from the UK National Ecosystem Assessment. *Bringing Together Science and Policy to Protect and Enhance Wetland Ecosystem Services in Agriculture*, 56, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.086>
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water*. [World Resour.].
- Melack JM, Hess LL.(2010). Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. *Amazonian floodplain forests*. Springer; 2010. pp. 43–59

- Patiño, J. E., & Estupiñan-Suarez, L. M. (2016). Hotspots of Wetland Area Loss in Colombia. *Wetlands*, 36(5), 935–943. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0806-z>
- Ricaurte, L. F., Patiño, J. E., Zambrano, D. F. R., Arias-G, J. C., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupinan-Suarez, L. M., Jaramillo, Ú., Santos, A. C., Lasso, C. A., Nivia, A. A. D., Calle, S. R., Vélez, J. I., Acosta, J. H. C., Duque, S. R., ... Junk, W. J. (2019). A Classification System for Colombian Wetlands: An Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands*, 39(5), 971–990. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01149-8>
- Tootchi A., Jost A., and Ducharne A. 2018. Multi-source global wetland maps combining surface water imagery and groundwater constraints. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.892657?format=html#download>
- Vilardy, S., Jaramillo, Ú., Flóres-Ayala, C., Cortés-Duque, J., Estupiñan-Suarez, L., Rodriguez, J., Aponte, C., Peláez, S., Santos, A. C., Samacá, W., & Acevedo, O. (2004). *Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia*. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31444>
- Wittmann, F., Schöngart, J., & Junk, W. J. (2011). Phytogeography, Species Diversity, Community Structure and Dynamics of Central Amazonian Floodplain Forests. En W. J. Junk, M. T. F. Piedade, F. Wittmann, J. Schöngart, & P. Parolin (Eds.), *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management* (pp. 61–102). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6_4)