MAPBIOMAS
COLOMBIA

Apéndice - Manglares

Tema transversal en Colección 4.0

Versión 1

Equipo responsable:
Karen Andrea Huertas
Julio Cesar Ramírez Yate
Cristian Camilo Durán Corredor

Noviembre 2026

Índice

1. Introducción **1**
2. Flujo metodológico **2**
3. Composición de Mosaicos Landsat **4**
3.1. Imágenes Landsat 4
3.1.1. Corrección topográfica 6
3.2. Selección de variables de clasificación 6
4. Clasificación **7**
4.1. Definición de la clase 7
4.1.1. Manglar del Caribe 7
4.1.2. Manglar del Pacifico 8
4.2. Regiones de clasificación 9
4.3. Información de referencia 9
4.4. Muestras de entrenamiento 10
5. Post-clasificación **11**
5.1. Filtro Gap Fill - Llenado de vacíos de información 11
5.2. Filtro temporal 11
5.3. Filtro espacial 13
5.4. Filtro de frecuencia 13
6. Integración con las otras clases MapBiomas Colombia **14**
7. Referencias bibliográficas **17**

Índice de Figuras

Figura 1. Flujo metodológico para la clasificación del transversal de Manglares Mapbiomas Colección 4 2
Figura 2. Comparativo entre los mosaicos empleados para la detección de manglares 3
Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales y cálculo de índices espectrales para la Colección 4.0 MapBiomas Colombia 5
Figura 4. Imágenes de referencia para la clase Manglar en el Caribe 8
Figura 5. Imágenes de referencia para la clase Manglar en el Pacifico 8
Figura 6. Regiones de clasificación y máscara de trabajo para el transversal de manglares de la Colección 4.0 MapBiomas Colombia 9
Figura 7. Muestras de entrenamiento 10
Figura 8. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro de relleno de vacíos 11
Figura 9. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro de relleno de vacíos 12
Figura 10. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro temporal 12
Figura 11. Efecto de la aplicación del filtro espacial 13
Figura 12. Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia 14

Índice de Tablas

Tabla 1. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 4.0 4
Tabla 2. Variables para la clasificación de manglares de la Colección 4 MapBiomas Colombia 6
Tabla 3. Capas de referencia para la clase manglar 10
Tabla 4. Reglas de integración para la región Pacifico 15
Tabla 5. Reglas de integración para la región Caribe 16

1. Introducción

Los manglares son ecosistemas costeros de gran importancia que proporcionan diversos servicios culturales, de provisión, regulación y soporte (Carvajal-Oses et al., 2019; Marlianingrum et al., 2019). Entre estos servicios, destaca el secuestro de carbono, siendo el manglar capaz de capturar hasta cuatro veces más carbono que otras coberturas forestales terrestres (Spalding & Leal, 2021). Además, son conocidos como la "sala cuna" de muchas especies de peces, moluscos, anfibios y aves, ya que ofrecen refugio, sitios de alimentación y zonas de desove o anidación (Dirección general de ecosistemas, 2002). Adicionalmente, cumplen una función crucial como barrera contra la erosión marina, estabilizando las costas y protegiendo de los fuertes oleajes a las comunidades que ahí habitan.

A pesar de su importancia, se ha reportado una notoria disminución en su extensión a nivel mundial. De acuerdo con Duke et al.,(2007) las pérdidas de manglares durante el último cuarto de siglo oscilan constantemente entre el 35% y el 86%, con una tasa anual de pérdida del 1% al 2% a nivel global. Por otro lado, otros autores han encontrado resultados más optimistas en los últimos años, evidenciando una reducción de las tasas de pérdida global derivada de una mejor vigilancia y acceso a los datos, cambios en las prácticas industriales, una mayor gestión y protección, la inaccesibilidad de los bosques de manglares intactos restantes, una mayor aplicación de la gestión comunitaria, un mayor enfoque en la rehabilitación y un mayor reconocimiento de los servicios ecosistémicos proporcionados por los manglares (Friess et al., 2020).

En Colombia, los manglares se encuentran en las costas Caribe, Pacífica y en el territorio insular, sometidos, en muchos casos, a un alto grado de perturbación ocasionado por la presión del desarrollo de la infraestructura vial, turística, urbana e industrial, el aprovechamiento intensivo de los recursos hidrobiológicos y maderables, y el cambio de uso de la tierra por la expansión de la frontera agrícola (Uribe Pérez & Urrego Giraldo, 2009), lo cual no solo representa la pérdida de grandes extensiones de la cobertura sino también la liberación de grandes cantidades de C a la atmósfera o al océano (Blanco-Libreros et al., 2015). En este contexto, conforme las áreas de manglares se vuelven más pequeñas o fragmentadas, su supervivencia a largo plazo corre un gran riesgo y pueden perderse servicios ecosistémicos esenciales, convirtiéndolos así en una fuente que contribuye al cambio global y regional.

A fin de establecer medidas eficaces para su manejo, el mapeo y monitoreo de las pérdidas y ganancias a lo largo del tiempo es fundamental. En ese sentido, Global Mangrove Watch (GMW) es una de las plataformas dedicadas a proporcionar información geoespacial sobre la extensión de los manglares en el mundo y los cambios efectuados desde 1996, mediante la teledetección, aunque no de forma consecutiva, mientras a nivel nacional es el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) quien se encarga de dicha labor a través del proyecto SIGMA.

En este documento se aborda la descripción del proceso metodológico aplicado para el mapeo de los manglares en el territorio como parte de la colección 4.0 de Mapbiomas Colombia, la cual consiste en una serie de mapas anuales de cobertura y uso del suelo desde 1985 a 2025, usando como base la metodología de Mapbiomas Brasil en colecciones previas, específicamente para la cobertura en cuestión (manglar). Se efectuaron ajustes y adaptaciones al método para replicarlo, delimitando áreas de trabajo específicas y haciendo uso de mapas de referencia nacional para comparaciones y validación de resultados.

2. Flujo metodológico

El completo proceso se dividió en cuatro etapas principales: (I) procesamiento de los mosaicos satelitales, (II) preclasificación a partir de los mosaicos satelitales y píxeles estables, (III) clasificación con muestras estables y no estables, (IV) aplicación de filtros post clasificación, y por último (V) integración y validación. A su vez, cada etapa constó de varios pasos que incluyen la recopilación de datos de referencia, definición de zonas de muestreo y clasificaciones preliminares de prueba. Su síntesis se muestra en la Figura 1.

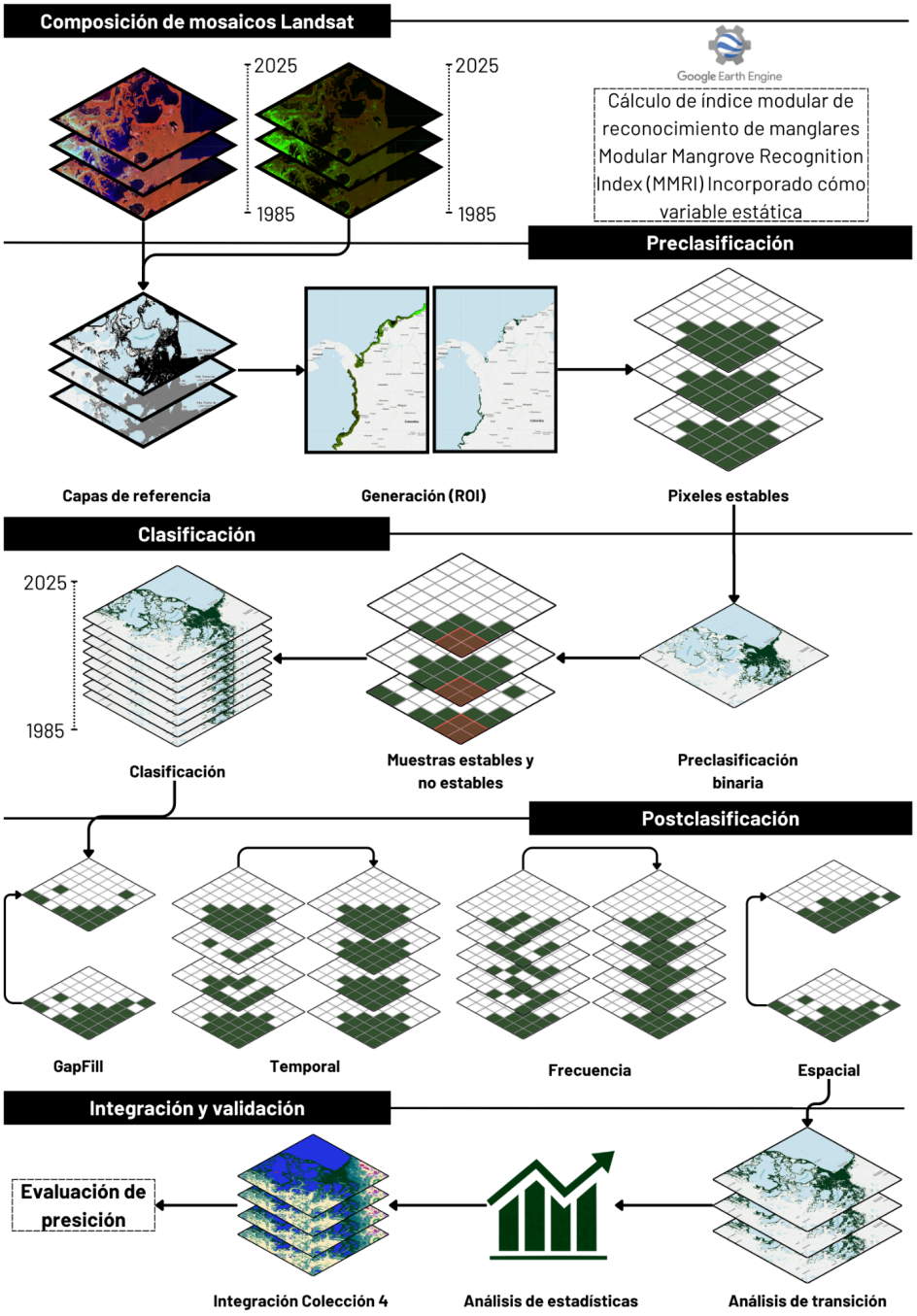
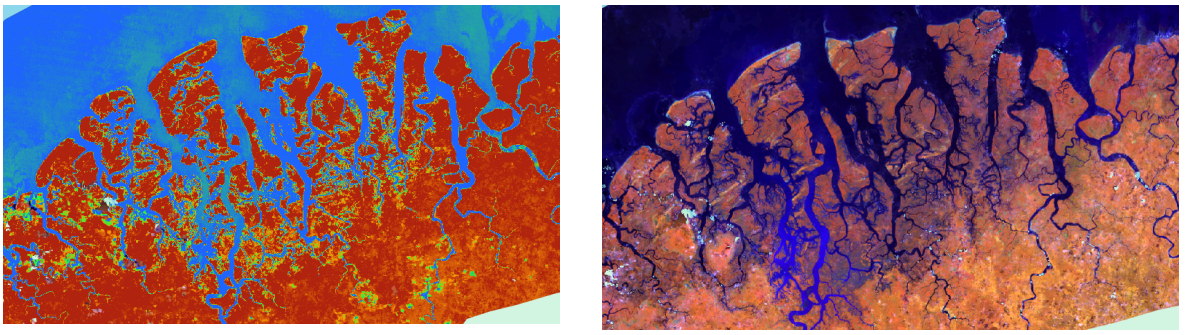


Figura 1. Flujo metodológico para la clasificación del transversal de Manglares Mapbiomas Colección 4.

En colecciones anteriores se utilizaron mosaicos con reflectancia calculada de la parte superior de la atmósfera (TOA) para la detección de manglar, los cuales se crean a partir de escenas ortorectificadas, esto con la intención de preservar al máximo la superficie terrestre en

los litorales reduciendo la incidencia de nubes, adicionalmente, permiten calibrar mejor el índice Modular de Reconocimiento de Manglares (MMRI). Estos mosaicos emplean coeficientes de re-escalamiento radiométrico para producir mosaicos anuales sin nubes (Diniz et al., 2019), mejorando notoriamente la integridad de los datos al identificar aquellos píxeles que podrían verse afectados por el albedo de la presencia de nubes (Chander et al., 2009).

No obstante, se presentaban inconvenientes al mapear la clase, principalmente en la región Pacifico, debido a la alta pluviosidad y la confusión con el bosque inundable. A raíz de lo anterior, se ajustó la metodología utilizando los mosaicos Landsat de Reflectancia de Superficie Coleccion 2, disponibles en el catálogo de datos de Google Earth Engine. Del total de variables disponibles se seleccionaron aquellas más representativas para discriminar la cobertura de manglar de otras clases presentes en la máscara (entre bandas Landsat, índices espectrales y variables topográficas, con reductores de mediana y percentil 25%) con objeto de entrenar el clasificador Random Forest.



Mosaico Landsat
Collection 2 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance

Mosaico Landsat
Collection 2 atmospherically corrected surface reflectance

Figura 2. Comparativo entre los mosaicos empleados para la detección de manglares. Mosaicos TOA en colección 2 y los mosaicos de reflectancia de superficie usados en la colección 4 de Mapbiomas Colombia.

3. Composición de Mosaicos Landsat

3.1. Imágenes Landsat

Los mosaicos utilizados como insumo principal para la clasificación transversal del manglar fueron elaborados a partir de imágenes satelitales de reflectancia de superficie, las cuales fueron corregidas atmosféricamente. Estas imágenes corresponden a los sensores Landsat 5, 7, 8 y 9 (Tabla 1), que cubren la zona de interés. Para cada uno de los años que conforman la serie temporal de 41 años, desde 1985 hasta 2025, se generó un mosaico único mediante el reductor de pixel de mediana con una resolución espacial de 30 metros.

En síntesis, el script aprovecha la banda de evaluación de calidad (QA) y el reductor de mediana GEE, durante el procesamiento se toma el valor de la mediana de píxeles de cada banda de un conjunto de imágenes a lo largo de la ventana temporal, rechazando los valores extremos que corresponden a nubes o sombras (Diniz et al., 2019).

Sensor	ID Colección en GEE
Landsat 4 TM	LANDSAT/LT04/C02/T1_SR
Landsat 5 TM	LANDSAT/LT05/C02/T1_SR
Landsat 7 ETM+	LANDSAT/LE07/C02/T1_SR
Landsat 8 OLI /TIRS	LANDSAT/LC08/C02/T1_SR
Landsat 9 OLI 2 /TIRS 2	LANDSAT/LC09/C02/T1_SR

Tabla 1. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 4.0.

Los mosaicos anuales generados cuentan con conjunto de variables que contemplan, además de las bandas propias del satélite, índices espectrales derivados que utilizan los siguientes métodos de agregación[1]:

- Mediana (_median): El valor del píxel que separa la mitad superior del conjunto de píxeles de la mitad inferior, estas imágenes corresponden al periodo de mapeo óptimo definido para cada año.
- Mediana época seca (_dry): El valor del píxel que separa la mitad superior del conjunto de píxeles de la mitad inferior estas imágenes están ubicadas en el percentil 25% anual de NDVI.
- Mediana época húmeda (_wet): El valor del píxel que separa la mitad superior del conjunto de píxeles de la mitad inferior estas imágenes están ubicadas en el percentil 75% anual de NDVI.
- Amplitud (_amp): Diferencia entre los dos extremos de un intervalo anual por pixel.
- Desviación estándar (_stdDev): Medida de dispersión que se obtiene como la raíz cuadrada de la varianza de los píxeles anuales.
- Mínimo (_min): El valor de píxel más bajo dentro del conjunto de datos.

[1] Estos métodos de agregación se aplicaron a las imágenes Landsat seleccionadas por carta y a todos los índices espectrales derivados de ellas.

- Máximo (_max): El valor de píxel más alto dentro del conjunto de datos.

La selección de escenas y construcción de los mosaicos definitivos se realizó utilizando como referencia los parámetros mencionado a continuación, almacenados como metadatos en cada asset construído:

- ID: Identificador único de la región.
- Año: Año de la serie (Comprendida entre 1985 a 2025) al que corresponde el mosaico.
- Fecha inicial y final: Periodo del año (fecha de inicio y final) para la selección de imágenes del catálogo de datos de imágenes Landsat de Google Earth Engine.
- Sensor: El satélite y su respectivo sensor:Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, Landsat 9, o las combinación de Landsat 5 y Landsat 7 (LX); Landsat 8 y Landsat 9 (LY)
- Cobertura de nubes: Porcentaje máximo permitido de cobertura de nubes. Se excluyen las escenas Landsat que superan ese porcentaje para la conformación del mosaico de mediana.
- Blacklist: Lista de escenas que por su calidad son excluidas de la construcción del mosaico.

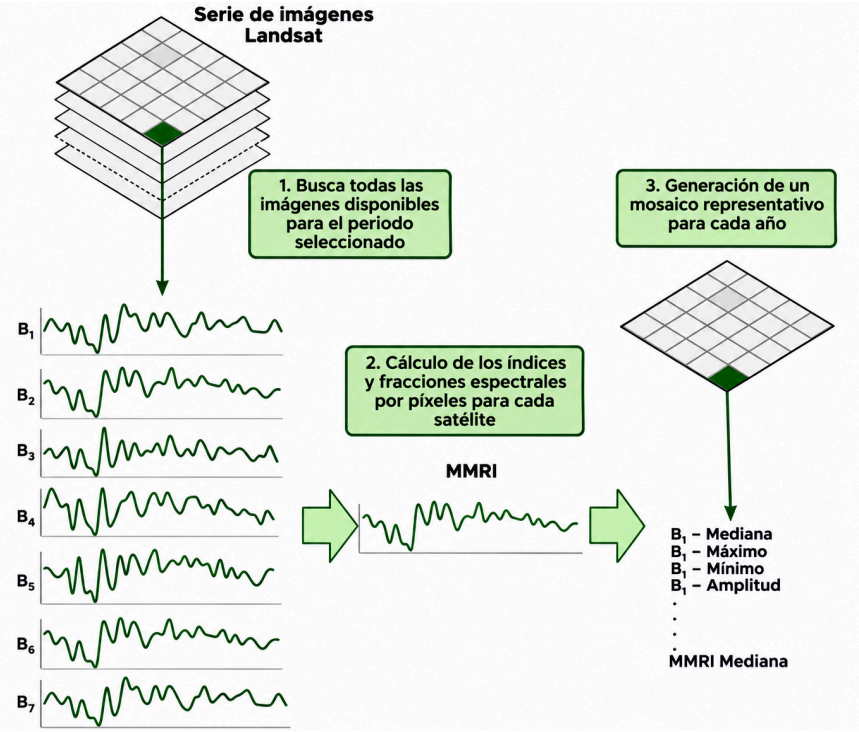


Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales y cálculo de índices espectrales para la Colección 4.0 MapBiomas Colombia.

De los índices espectrales calculados a partir de los atributos espectrales extraídos (véase Figura 3), el más relevante es el Índice Modular de Reconocimiento de Manglares (MMRI, por sus siglas en inglés). Este índice se incorpora como una variable estática y se fundamenta en la combinación de dos índices clásicos: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI). La ecuación correspondiente se presenta a continuación:

$$MMRI = \frac{|MNDWI| - |NDVI|}{|MNDWI| + |NDVI|}$$

3.1.1. Corrección topográfica

En esta colección se ha realizado una mejora mediante la aplicación de una corrección topográfica a los mosaicos Landsat utilizados. Dicha corrección reduce significativamente el impacto de las sombras proyectadas en áreas con pendientes pronunciadas y contribuye a la homogeneización de las zonas de mapeo. Es importante señalar que las condiciones de iluminación, determinadas por el ángulo cenital del sensor en el momento de la captura, afectan los niveles de reflexión de la luz. Gracias a esta optimización, se obtiene una representación más uniforme y confiable del paisaje.

3.2. Selección de variables de clasificación

A partir de los mosaicos 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 las bandas topográficas (altitud, pendiente y slppost), derivadas del modelo de elevación SRTM. En total se utilizaron 14 variables para implementar la clasificación. El detalle de cada una se muestra en la tabla 2 a continuación.

Banda	Descripción	Reductor
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
BQA	Valor de la banda de evaluación de calidad	
CAI	Índice de absorción de celulosa	Mediana
EVI	Índice de vegetación mejorado	Mediana
GCVI	Índice de Clorofila Verde de la Vegetación	Mediana
NDFI	Índice de Fracción de Diferencia Normalizada	Mediana
NDVI	Índice de diferencia de vegetación normalizado	Mediana
SAVI	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo	
NDWI	Índice de diferencia de agua normalizado	
MNDWI	Índice de diferencia de agua normalizado modificado	
	Índice de Diferencia Normalizada del Suelo	
NDSI	Índice Modular de Reconocimiento de Manglares	
MMRI		
slope	Pendiente	
slppost	Pendiente estratificada	
altitude	Altitud	

Tabla 2. Variables para la clasificación de manglares de la Colección 4 MapBiomas Colombia.

4. Clasificación

4.1. Definición de la clase

Los manglares (ID 5) son formaciones naturales de bosques densos y siempre verdes ubicados en las zonas litorales, ocupando un espacio de transición entre el continente y el océano (García Murcia & Cortes Castillo, 2018). Se desarrollan sobre suelos arenosos o limo arcillosos que pueden estar permanente u ocasionalmente inundados debido a la influencia de las mareas. Conforman franjas en zonas estuarinas, bahías, ensenadas, lagunas costeras, desembocaduras de los ríos, esteros, entre otros sitios, donde reciben los aportes de las aguas de escorrentía continental y la influencia de las aguas marinas o salobres (Díaz Gaxiola, 2011).

Debido a las condiciones climáticas, edáficas, las variables oceanográficas y fluviales, la vegetación posee un conjunto de características morfológicas y fisiológicas particulares que les permite crecer en terrenos inestables, anaerobios e inundables, con suelos con bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de salinidad, tales como: Raíces alargadas y flexibles para colonizar sustratos inestables, estructuras anatómicas denominadas “lenticelas” y neumatóforos que permiten el intercambio de gases con la atmósfera y estrategias reproductivas como la presencia de semillas que pueden flotar durante largos periodos de tiempo (Villalba Malaver, 2006). En Colombia los manglares se localizan en las costas Pacífica y Caribe.

4.1.1. Manglar del Caribe

En la región Caribe, los manglares alcanzan alturas entre 3 a 20 m, siendo inferiores respecto al litoral Pacifico. Se distribuyen desde el golfo de Urabá (Antioquia) hasta la bahía Turkakas en la alta Guajira, ubicándose en las desembocaduras de los grandes ríos como el Atrato,el Río Sinú y el Río Magdalena, también aparecen a orillas de las ciénagas, en el Parque Tayrona en Camarones y el delta del río Ranchería en la Guajira, se adicionan los manglares de las zonas insulares, principalmente en el Archipiélago de San Andrés y Providencia.Su composición florística en el Caribe incluye cinco géneros Rhizophora, Avicennia, Laguncularia, Pelliciera y Conocarpus (Villalba Malaver, 2006).

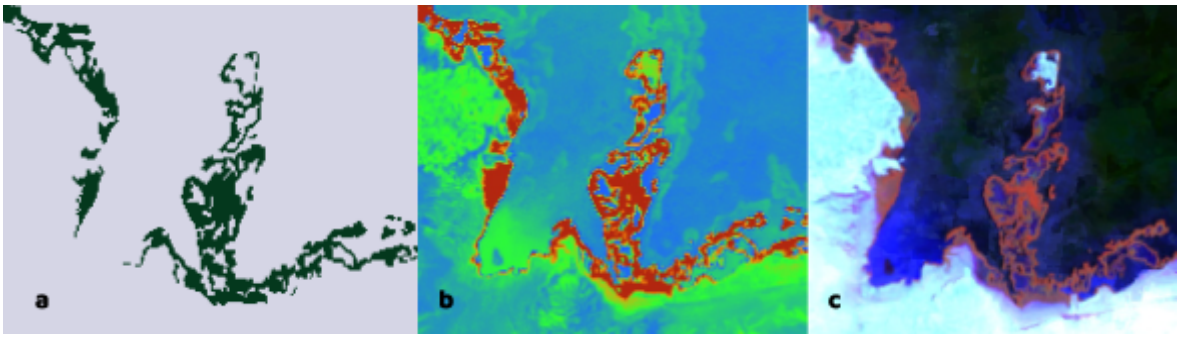




Figura 4. Imágenes de referencia para la clase Manglar en el Caribe.
(a) Clasificación de cobertura
(Leyenda: Manglar, Zonas sin manglar); (b) Mosaico MMRI; (c) Mosaico Landsat (RGB); (d) Imagen de Google Street View (-71.96417 , 12.1602)

4.1.2. Manglar del Pacifico

Los manglares del Pacífico Colombiano alcanzan hasta 40 m de altura y poseen una mayor diversidad de especies. Se extienden a lo largo de la costa y en algunos deltas del río que penetran hacia el continente, desde la Ensenada de Utría, Nuquí, en la desembocadura del Río Baudó y el Río San Juan; Siguiendo hacia el sur reaparecen en las Bahías de Málaga y Buenaventura, hasta Tumaco, en límites con Ecuador (Villalba Malaver, 2006).

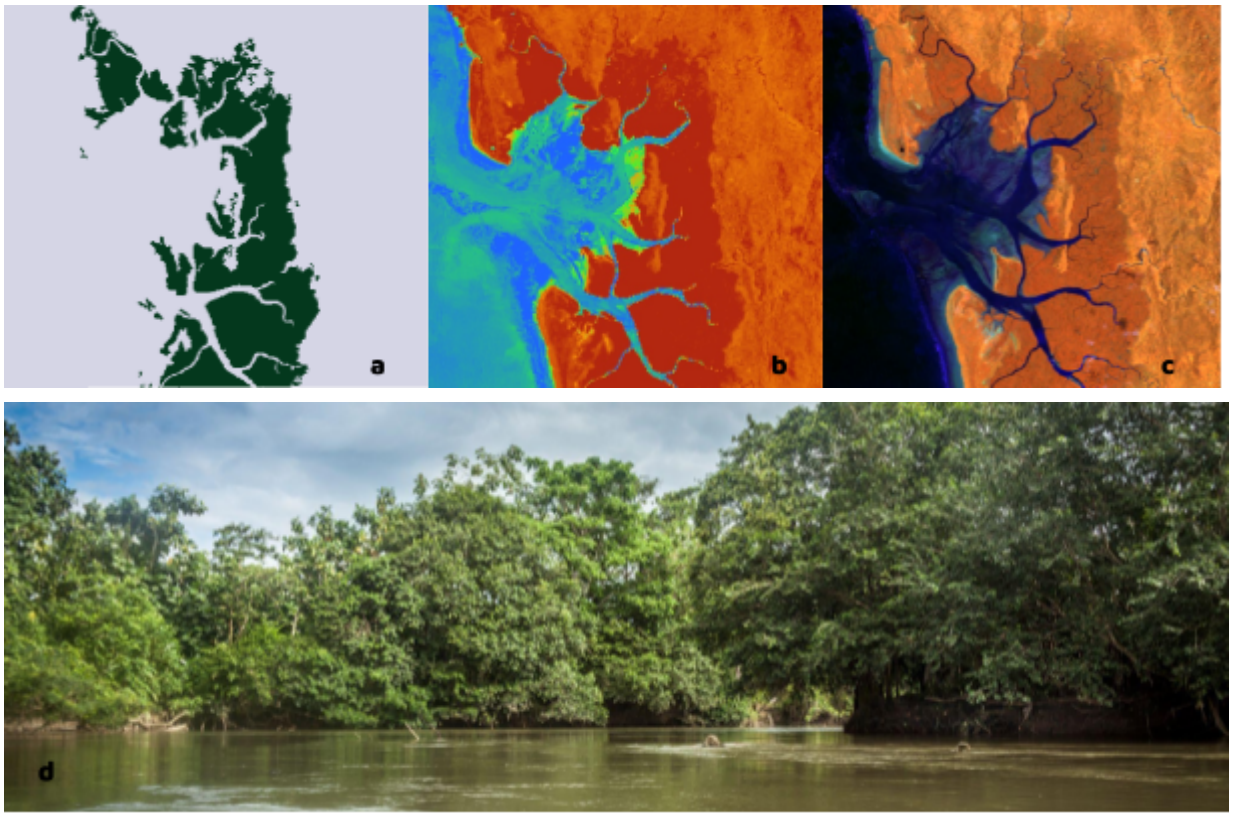


Figura 5. Imágenes de referencia para la clase Manglar en el Pacifico.
(a) Clasificación de cobertura
(Leyenda: Manglar, Zonas sin manglar); (b) Mosaico MMRI; (c) Mosaico Landsat (RGB); (d) Imagen de manglar en Pacifico (WWF, s. f.)

4.2. Regiones de clasificación

A partir de los mosaicos landsat generados se realizó una clasificación supervisada basada en el algoritmo de Árboles Aleatorios (En inglés, Random Forests). El procesamiento se desarrolló por completo en la plataforma Google Earth Engine y los resultados se almacenaron como colección de imágenes en la misma. La detección de coberturas se enfocó en la identificación de la clase manglar (ID 5 en la leyenda Colección 4.0 Mapbiomas Colombia) en la regiones biogeográficas Caribe y Pacifico. El proceso de clasificación se realizó considerando sólo dos clases posibles; la clase de interés y la clase No observado (todas las coberturas que no corresponden a manglar).

En aras de facilitar el proceso de clasificación se delimitaron "regiones de clasificación" de acuerdo a criterios geográficos, topográficos y de continuidad de la cobertura. Como resultado se definieron 9 regiones de clasificación como se observa en la Figura 6; 4 para el Caribe, 4 en Pacifico y 1 para la zona caribe insular. Las regiones abarcan desde la 30401 hasta la 30409.

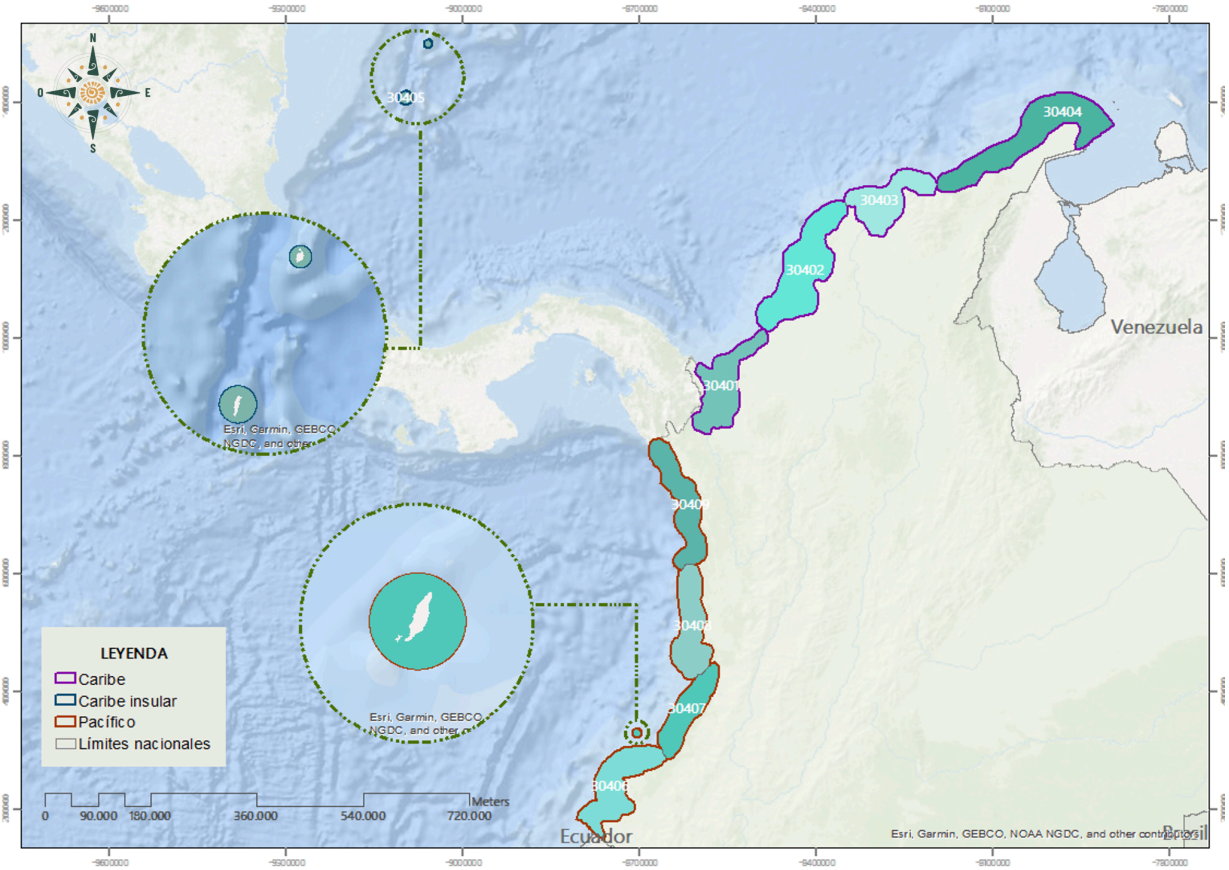


Figura 6. Regiones de clasificación y máscara de trabajo para el transversal de manglares de la Colección 4.0 MapBiomas Colombia.

4.3. Información de referencia

Las muestras de entrenamiento utilizadas para la clasificación se generaron sobre el área de intersección entre las capas de referencia de cobertura de manglar, estableciendo un ROI o máscara de trabajo (Tabla 3). Adicionalmente, se agregaron las muestras estables de la clase, es decir, aquellos píxeles que fueron clasificados como manglar en todos los años de la serie que cubre la colección 4 (1985-2025) y el acumulado a lo largo de la ventana temporal. Estos resultados se trataron como una capa adicional.

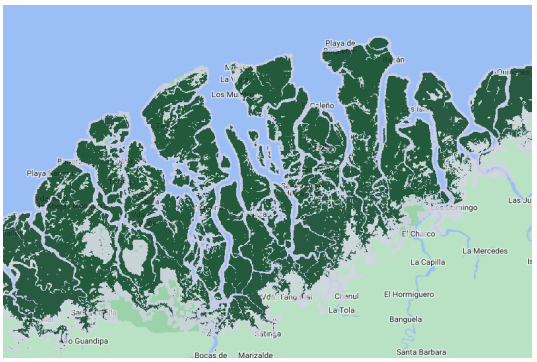
Referencia	Global	Colombia
Global Mangrove Watch (GMW)	x	x
Global Mangrove Forests Distribution	x	x
Global Mangrove Distribution (USGS)	x	x
IDEAM 2017		x
CLC 2018		x
Referencia nacional		x
Puntos estables Colección 1 Mapbiomas		x
Acumulado Colección 1 Mapbiomas		x

Tabla 3. Capas de referencia para la clase manglar

4.4. Muestras de entrenamiento

Una vez generada la unión de todas las capas de referencia para el país se sortearon de manera aleatoria muestras de entrenamiento para la clase manglar (id 5) y la clase no observado (id 27), en la cual se agruparon aquellas coberturas que no corresponden a manglar. Además, se implementó una función para excluir o tomar zonas de muestreo a partir de geometrías, para evitar errores originados por inconsistencias en las capas de referencia.

(a)



(b)

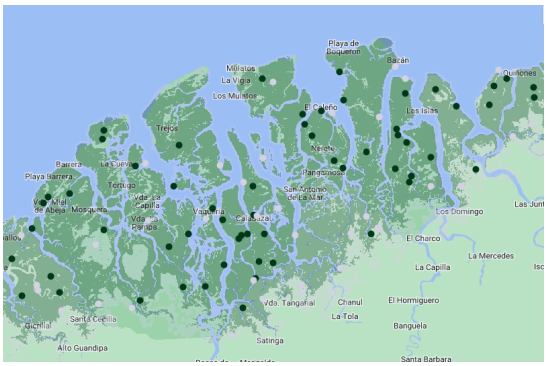


Figura 7. Muestras de entrenamiento.
La imagen (b) muestra los puntos sorteados aleatoriamente para la clase manglar(verde oscuro) y no manglar (gris), a partir de la máscara generada de la intersección de capas de referencia (a).

5. Post-clasificación

Debido al abordaje de un método de clasificación pixel a pixel para una ventana temporal extensa de 41 años, es usual la presencia de algunas inconsistencias en el mapeo, tales como ruido, efecto sal y pimienta, vacíos de información e incongruencias temporales, por lo cual se aplicó una serie de filtros de forma iterativa post-clasificación; Filtro gapfill, temporal, espacial y de frecuencia.

5.1. Filtro Gap Fill - Llenado de vacíos de información

La secuencia de filtros comienza con el relleno de vacíos de información. En ciertos años es común la ausencia parcial o total del mosaico por defecto del sensor, así mismo, algunas regiones son severamente afectadas por nubes,especialmente en la región Pacifico, por ende se espera que los vacíos puedan manifestarse en el resultado de la mediana. Este filtro permite reemplazar los píxeles que no presentan información por la clasificación temporalmente más cercana (Figura 8). De no haber disponibilidad de un valor en el año inmediatamente anterior, entonces el espacio se completa con el valor del año siguiente.De esta manera, los vacíos remanentes únicamente deberían existir si un píxel dado se ha clasificado permanentemente como sin información en toda la serie temporal.

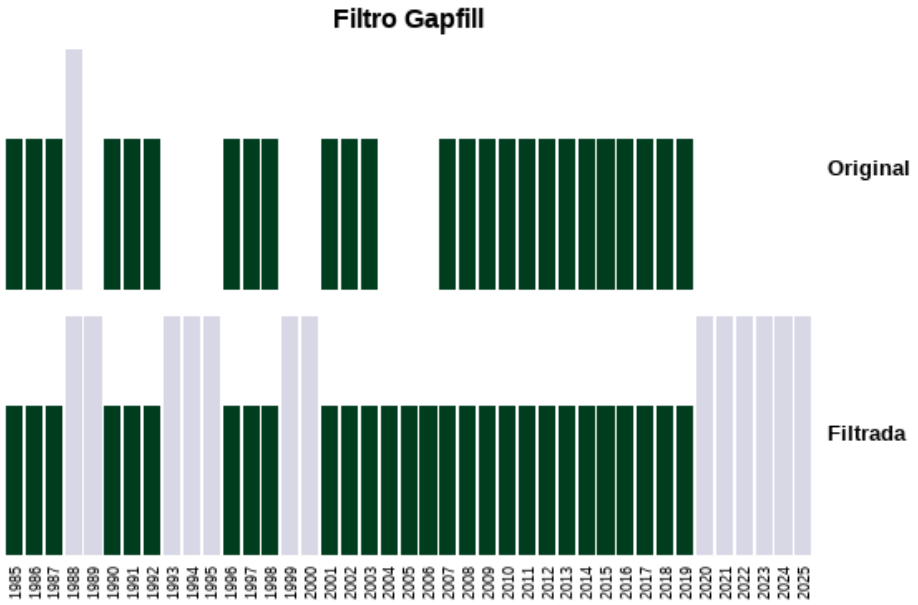


Figura 8. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro de relleno de vacíos.

5.2. Filtro temporal

El filtro temporal utiliza clasificaciones secuenciales en una ventana móvil unidireccional de 3, 4 o 5 años en toda la serie temporal. La funcionalidad del filtro consiste en identificar transiciones temporalmente no permitidas, es decir, cambios abruptos que no son coherentes con el comportamiento de la cobertura mapeada. La ejecución del filtro temporal contempla 3 reglas:

- Regla de primer año (RP): Aplicada únicamente sobre la clasificación del primer año de la serie temporal (1985) en donde se presenta un cambio abrupto respecto a la continuidad de la serie.

- Regla de último año (RU): Aplicada únicamente sobre la clasificación del último año de la serie temporal (2025) en donde se presenta un cambio abrupto respecto a los años previos (figura 9).

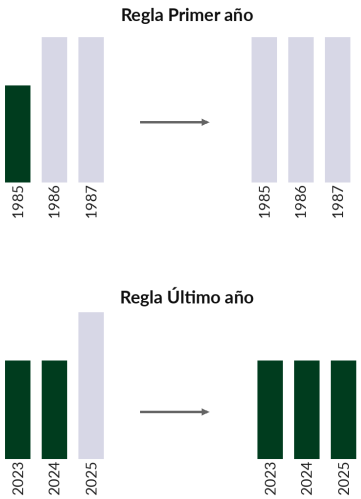


Figura 9. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro de relleno de vacíos.

- Regla general o regla de años intermedios (RG): Aplicada a todos los años intermedios de la serie (1986-2024), reemplazando el valor de píxeles localizados en la zona intermedia donde existe una inconsistencia temporal por el valor de los extremos. En las secuencias de 3 años, solo existe una opción de posición central o año intermedio, mientras en las secuencias de 4 o 5 años, existen dos o tres alternativas de posiciones centrales como se observa en la figura 10.

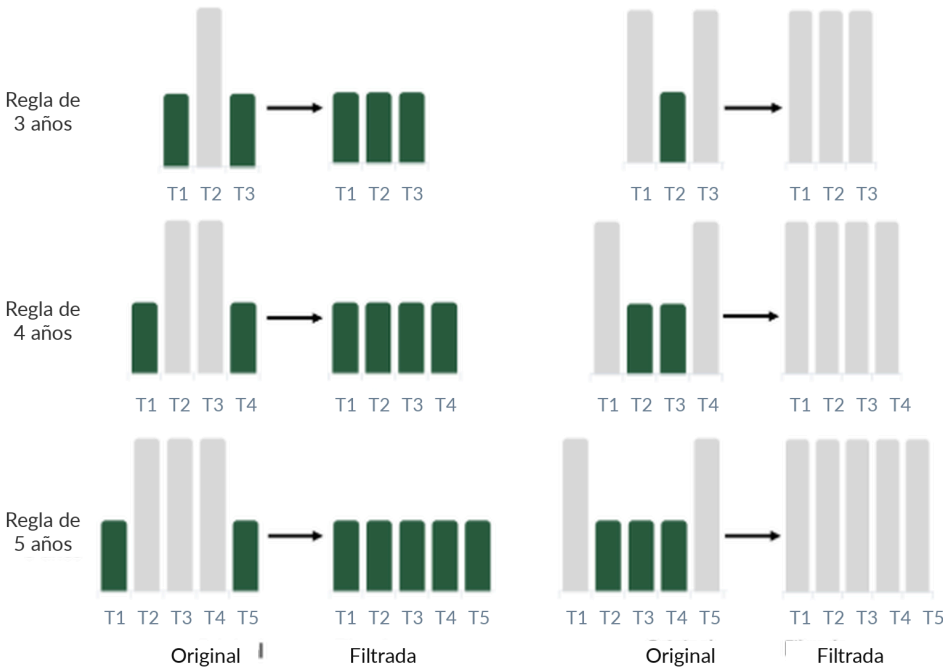


Figura 10. Ejemplo del mecanismo de acción del filtro temporal.

5.3. Filtro espacial

El filtro espacial está basado en la función "connectedPixelCount", que permite homogeneizar la clasificación asignando a píxeles dispersos el valor de la clase en la que están inmersos y/o que predomina a su alrededor, para lo cual deben presentar una conexión entre sí para ser clasificados como un grupo de píxeles representativos y cumplir con un área mínima de 0.5 hectáreas, equivalente a 5 píxeles. De esta manera, aquellos píxeles aislados que no cumplen dicha condición son reclasificados, eliminando ruidos en la clasificación y unificando las coberturas del mosaico. En la figura 11 se observa una imagen de entrada (CO) que evidencia un píxel aislado, el cual, una vez aplicado el filtro (CF), es sustituido por la clase predominante que lo rodea.

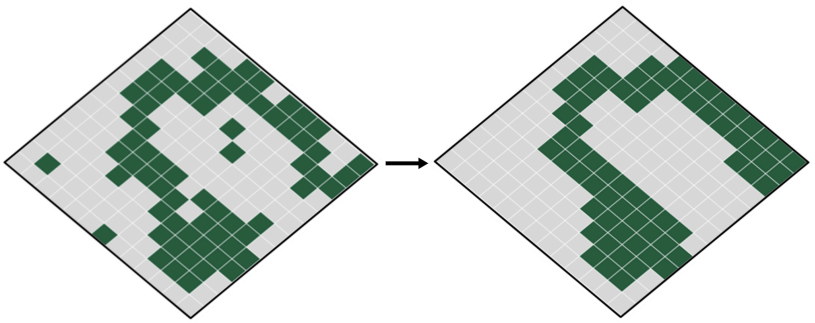


Figura 11. Efecto de la aplicación del filtro espacial.

5.4. Filtro de frecuencia

Finalmente, el cuarto filtro disponible en la secuencia de post-clasificación fue el filtro de frecuencia. Como se muestra en la Figura 12, este filtro considera el porcentaje de ocurrencia de la clase a lo largo de la serie temporal para limpiar el resultado de la clasificación, de manera que desde 1985 a 2025 se asigna al píxel el valor de una misma clase de cobertura.

Este filtro fue aplicado de forma diferencial para la clase 5 (manglar) y la clase 27 (No observado),siendo esta última la agrupación de todas las clases que no corresponden al transversal en cuestión presentes en la máscara de clasificación. En primer lugar, el filtro permitió completar las clasificaciones de la cobertura manglar en zonas donde por defecto del mosaico o por errores en el proceso de clasificación presentaron subestimaciones que no fue posible corregir mediante el filtro temporal.

En segunda instancia, el filtro contribuyó a eliminar los ruidos remanentes, caso especialmente frecuente en el Pacifico Colombiano debido a las condiciones de alta pluviosidad que caracterizan la región y ocasionan la regular presencia de nubes en los mosaicos. En la figura 10 se ejemplifica el efecto de este filtro.

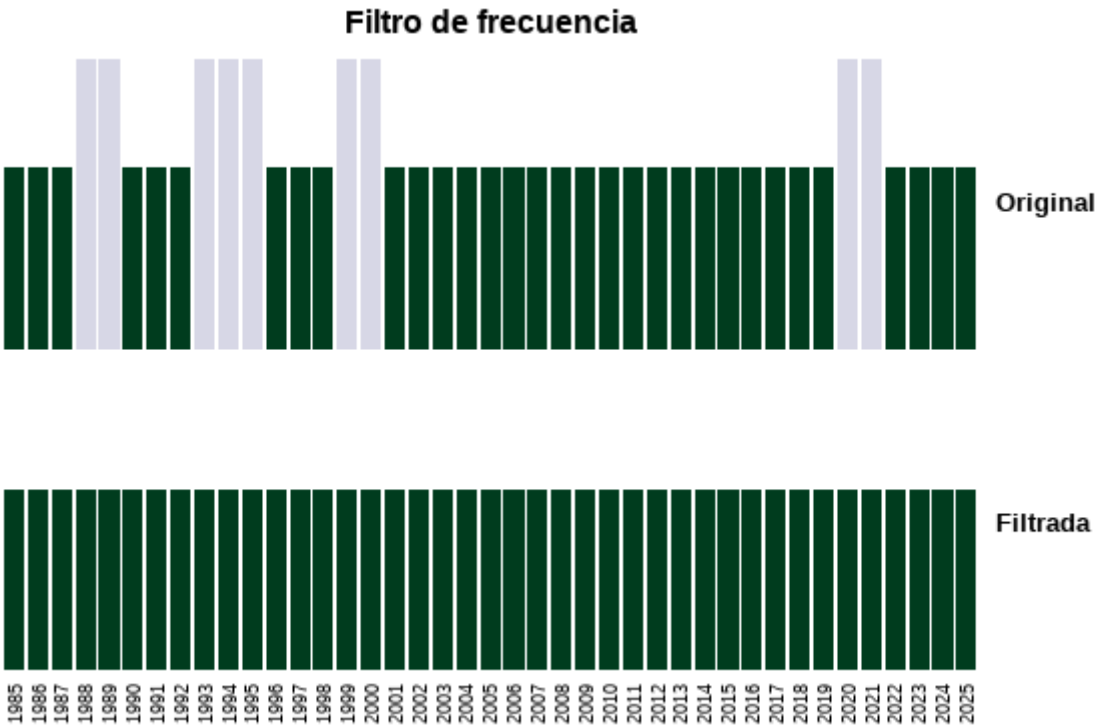


Figura 12. Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia

6. Integración con las otras clases MapBiomas Colombia

Luego de la aplicación de la secuencia de filtros en la etapa de Post clasificación, los temas transversales y los mapas generales de cada bioma son integrados. Esta integración depende de una serie de reglas jerárquicas específicas que asignan un orden de prevalencia a cada clase. Como resultado de esta etapa se obtienen los mapas anuales de cobertura y uso de la tierra para toda Colombia. En la tabla 4 y 5 se registra el orden de integración para las regiones biogeográficas Pacifico y Caribe respectivamente, donde se efectuó el mapeo del transversal de manglar.

Pacifico		
Clase	ID	Orden integración
Afloramiento rocoso	29	1
Infraestructura urbana	24	2
Minería	30	3
Silvicultura	9	4
Otra área natural sin vegetación	68	5
Playas, dunas y bancos de arena	23	6
Río, lago u océano	33	7
Palma de aceite	35	8

Acuicultura	31	9
Mosaico de agricultura y/o pasto	21	10
Otra área sin vegetación	25	11
Formación natural no forestal inundable	11	12
Manglar	5	13
Bosque inundable	6	14
Otra formación natural no forestal	13	15
Formación forestal	3	16

Tabla 4. Reglas de integración para la región Pacifico

Caribe		
Clase	ID	Orden integración
Glaciar y nival	34	1
Afloramiento rocoso	29	2
Minería	30	3
Infraestructura urbana	24	4
Silvicultura	9	5
Palma de aceite	35	6
Otra área natural sin vegetación	68	7
Playas, dunas y bancos de arena	23	8
Río, lago u océano	33	9
Manglar	5	14
Acuicultura	31	10
Mosaico de agricultura y/o pasto	21	11
Otra área sin vegetación	25	12
Formación natural no forestal inundable	11	13

Bosque inundable	6	15
Otra formación natural no forestal	13	16
Formación forestal	3	17
Vegetación leñosa sobre arena	49	18
Vegetación herbácea sobre arena	50	19

Tabla 5. Reglas de integración para la región Caribe

7. Referencias bibliográficas

Blanco-Libreros, J. F., Ortiz-Acevedo, L. F., & Urrego, L. E. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, *37*(103), 131-141. https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a02

Carvajal-Oses, M., Herrera-Ulloa, A., Valdés-Rodríguez, B., & Campos-Rodríguez, R. (2019). Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: Hacia un Desarrollo Sostenible. *Gestión y Ambiente*, *22*, 277-290. https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.80639

Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, *113*(5), 893-903. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007

Díaz Gaxiola, J. M. (2011). Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai*, 355-370. https://doi.org/10.35197/rx.07.03.2011.05.jd

Diniz, C., Cortinhas, L., Nerino de Souza Jr, G., Rodrigues, J., Sadeck, L., Adami, M., Souza Filho, P. W., & Souza-Filho, M. (2019). Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sensing*, *11*, 808. https://doi.org/10.3390/rs11070808

Dirección general de ecosistemas. (2002). *Uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de manglar en Colombia*. https://par-manglares.net/images/docs/publicaciones/colombia/PNM-2002.pdf

Duke, N. C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K. C., Field, C. D., Koedam, N., Lee, S. Y., Marchand, C., Nordhaus, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A World Without Mangroves? *Science*, *317*(5834), 41-42. https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b

Friess, D. A., Yando, E. S., Abuchahla, G. M. O., Adams, J. B., Cannicci, S., Canty, S. W. J., Cavanaugh, K. C., Connolly, R. M., Cormier, N., Dahdouh-Guebas, F., Diele, K., Feller, I. C., Fratini, S., Jennerjahn, T. C., Lee, S. Y., Ogurcak, D. E., Ouyang, X., Rogers, K., Rowntree, J.

K., … Wee, A. K. S. (2020). Mangroves give cause for conservation optimism, for now. *Current Biology*, *30*(4), R153-R154. https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.054

García Murcia, Y., & Cortes Castillo, D. V. (2018). Estado de conservación de los manglares del Caribe colombiano y su potencial en productos forestales no maderables. *CITAS: Ciencia, innovación, tecnología, ambiente y sociedad*, *4*(1), 8.

Marlianingrum, P., Kusumastanto, T., Adrianto, L., & Fahrudin, A. (2019). Economic analysis of management option for sustainable mangrove ecosystem in Tangerang District, Banten Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *241*(1), 012026. https://doi.org/10.1088/1755-1315/241/1/012026

Spalding, M. D., & Leal, M. (2021). *El estado de los manglares del mundo 2021*. Global Mangrove Alliance. https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2022/02/The-State-of-the-Worlds-Mangroves-Spanish.pdf

Uribe Pérez, J., & Urrego Giraldo, L. E. (2009). *Gestión ambiental de los ecosistemas de manglar. Aproximación al caso colombiano*. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/28392

Villalba Malaver, J. (2006). *Los manglares en el mundo y en Colombia: Estudio descriptivo básico.*

WWF. (s. f.). *Expedición científica en Cabo Manglares (Nariño) reportará la biodiversidad del Pacífico*. Recuperado 19 de septiembre de 2023, de https://www.wwf.org.co/?338996/Expedicion-cientifica-en-Cabo-Manglares-Narino-reportara-la-biodiversidad-del-Pacifico