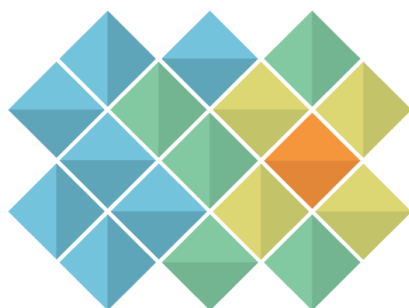




MAPBIOMAS
PERÚ

Apéndice - Coberturas inundables

Tema transversal

Colección 4.0

Equipo responsable

Zuley Cáceres
Andrea Bravo
Emanuel Valero
Lucy Flores
Valeria Llactayo
Sergio Campos

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Marco teórico	3
2.1. Formación herbácea inundable	3
2.2. Bosque inundable	3
3. Metodología	4
3.1. Área de estudio	4
3.2. Generación de mosaicos anuales	8
3.3. Variables de clasificación o feature space	9
3.4. Clasificación	10
3.4.1. Mapas de referencia	10
3.4.2. Muestras de entrenamiento	12
3.4.3. Algoritmos de clasificación	14
3.5. Posclasificación	16
3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill	16
3.5.2. Filtro Temporal	17
3.5.3. Filtro espacial	18
3.5.4. Filtro de frecuencia	19
3.6. Integración	20
3.7. Resumen metodológico	20
4. Referencias	21

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación para Formación herbácea inundable	7
Tabla 2. Regiones de clasificación para Bosque Inundable	8
Tabla 3. Variables para la clasificación de coberturas inundables de la Colección 4.0., MapBiomias Perú	10
Tabla 4. Capas de referencia de formación no forestal en humedales	11
Tabla 5. Capas de referencia utilizadas para el bioma Desierto Costero	12
Tabla 6. Clases de la Colección 6.0	13
Tabla 7. Mapas de referencia de Bosque inundable	13
Tabla 8. Mapas de referencia de Formación herbácea inundable en humedales	13
Tabla 9. Reglas de aplicación de filtro temporal y resultados	18

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Formación herbácea inundable	4
Figura 2. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Bosque inundable (ID 6) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025)	5
Figura 3. Regiones de clasificación	6
Figura 4. Ejemplo de muestras de entrenamiento sorteadas aleatoriamente para cobertura inundable y no inundable, a partir del mapa de referencia en el bioma Amazonía	14
Figura 5. Imágenes de referencia para la clase Bosque inundable	15
Figura 6. Imágenes de referencia de la clase Formación herbácea inundable (sabana)	15
Figura 7. Imágenes de referencia para la clase Formación herbácea inundable en Pantanos de Ventanilla	16
Figura 8. Esquema de funcionalidad ejemplo de filtro Gap Fill para la clase Bosque Inundable	17
Figura 9. Esquema de funcionalidad de filtro temporal	18
Figura 10. Esquema de funcionalidad de filtro espacial	19
Figura 11. Esquema de funcionalidad de filtro frecuencia	20
Figura 12. Diagrama metodológico para la identificación de coberturas inundables.	21

1. Introducción

El mapeo de las coberturas inundables en los biomas Desierto Costero y Amazonía, especialmente la de bosque inundable, en el ámbito de la Amazonía fue uno de los principales retos en la Colección 4.0. de MapBiomias Perú. El primer avance de este desafío se llevó a cabo en las colecciones previas, enfocando esfuerzos en el ámbito del territorio peruano, utilizando las herramientas disponibles y conocidas por el equipo en las colecciones respectivas.

Basados en los resultados de la Colección 4.0., el equipo adoptó un enfoque más apropiado para la clasificación de estas coberturas. Los algoritmos desarrollados para la clasificación anual de coberturas inundables en la Colección 4.0. de MapBiomias Perú (1985 - 2025) incorporan áreas de trabajo específicas y el uso de mapas de referencia nacional, que convierten a estos mapas en un tema transversal.

Este tema toma ventaja de los mosaicos Landsat elaborados para el mapa general de la Colección 4.0., utilizando los mismos parámetros de periodo de imágenes, sensores, cobertura de nubes y exclusión de escenas por año. Sin embargo, agrega bandas asociadas al índice Tasseled Cap, en sus tres diferentes componentes: *Brightness*, *Greenness* y *Wetness*. Del total de variables disponibles se seleccionaron aquellas más representativas en la respuesta de cada clase. Es así que, se utilizó un set de 26 variables (entre bandas Landsat, índices espectrales y variables topográficas, con reductores de mediana y percentil 25%) para entrenar el clasificador Random Forest.

2. Marco teórico

2.1. Formación herbácea inundable

La Formación herbácea inundable (ID 11) clasificada en Amazonía y Desierto Costero 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); Ministerio de Ambiente de Ecuador (2012); MINAM (2019); entre otros.

2.2. Bosque inundable

El Bosque inundable (ID 6) se define como cobertura amazónica arbórea ubicada en la gran llanura aluvial y las terrazas que periódicamente o permanentemente se inundan. Crece en suelos de pobre drenaje y abundante materia orgánica con lenta descomposición. En este bosque dominan palmeras, acompañadas de árboles como “renacales” y “pungales”. El concepto toma en cuenta las referencias bibliográficas nacionales (Instituto Sinchi. 2009; Wittmann et al. 2002; Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2012; MINAM, 2019; entre otros).

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El ámbito de estudio de la clase Formación herbácea inundable comprende los biomas Amazonía y Desierto Costero a lo largo del litoral peruano. Por su parte, la clase Bosque Inundable comprende exclusivamente el ámbito del bioma Amazonía. Como referencia espacial del área de estudio, la Figura 1 presenta el mapa de acumulado de la clasificación de Formación herbácea inundable para el conjunto de años analizados, mientras que la Figura 2 representa el acumulado de la clase Bosque Inundable. En ambos casos, se muestran los píxeles identificados como pertenecientes a cada clase al menos en uno de los años de la serie temporal, permitiendo visualizar su distribución espacial a nivel nacional.

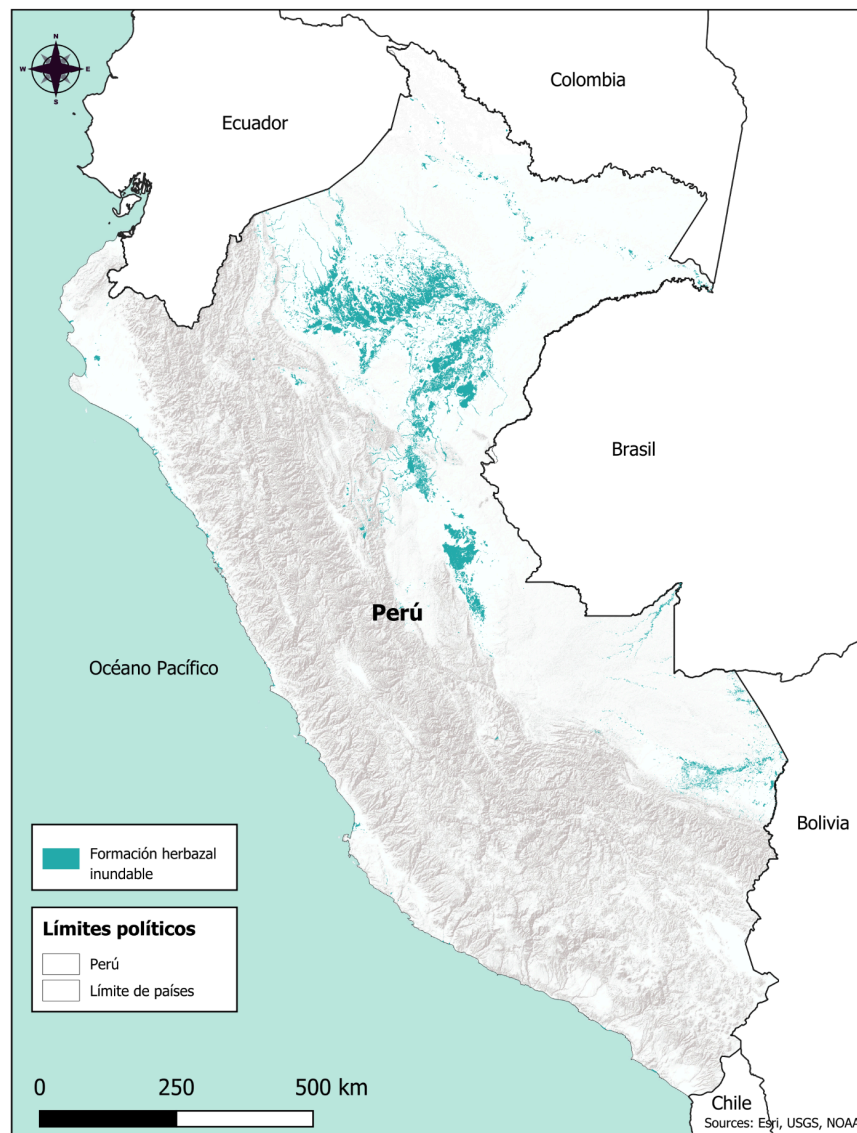


Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Formación herbácea inundable (ID 11) a nivel nacional correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

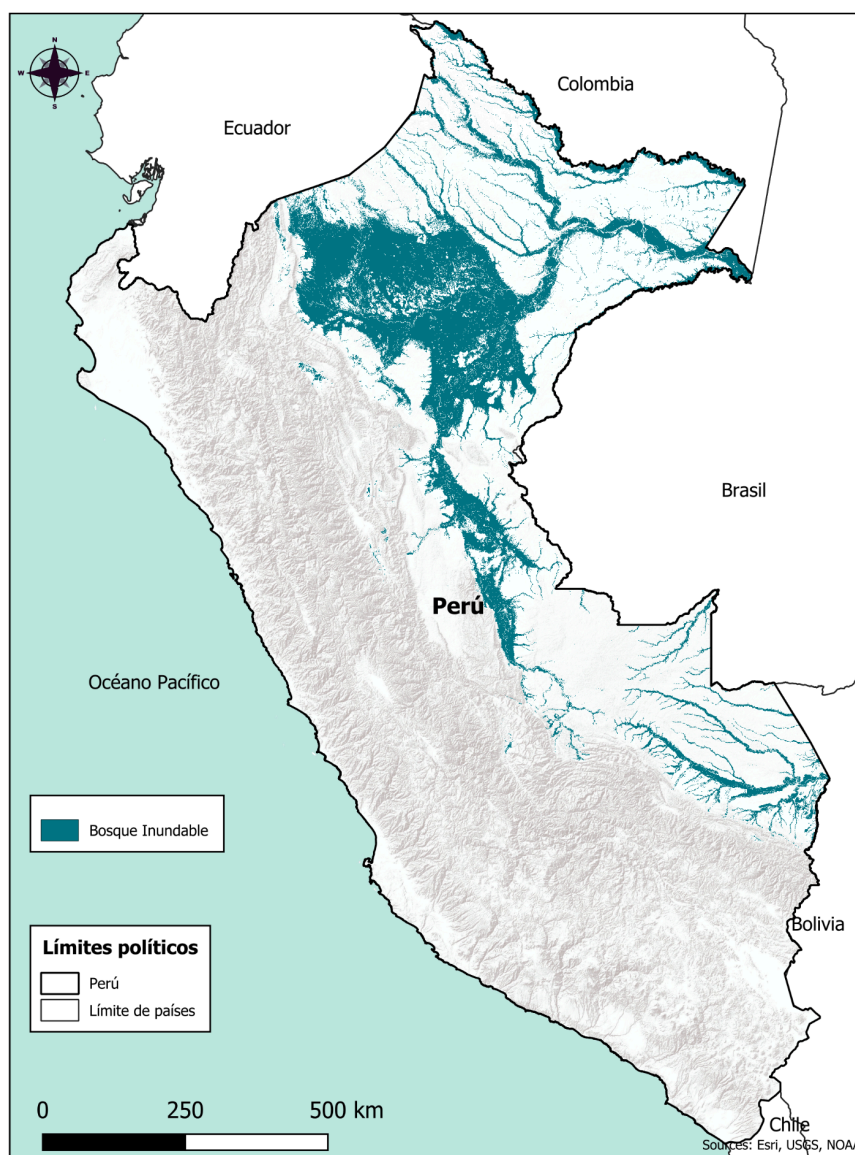


Figura 2. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Bosque inundable (ID 6) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

Para definir las regiones de clasificación se empleó como referencia las regiones de clasificación utilizadas en la metodología general y criterios técnicos sobre la distribución de áreas inundables a nivel nacional, en el caso de Formación herbácea inundable se usaron treinta y dos regiones de clasificación (32) distribuidas entre las regiones de mosaico¹ de Amazonía Alta, Amazonía Baja y Desierto Costero (ver Tabla 1), mientras que para Bosque Inundable se usaron veintisiete (27) distribuidas exclusivamente entre Amazonía Baja y Amazonía Alta (ver Tabla 2).

¹ Para más detalle sobre las regiones de mosaico visitar el ATBD General de MapBiomias Perú Colección 4.0.



Figura 3. Regiones de clasificación.

Tabla 1. Regiones de clasificación para Formación herbácea inundable.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 701	Amazonía Alta	70101
		70102
		70103
		70104
		70105
		70106
		70107
		70108
		70109
		70110
		70111
		70112
		70113
		70114
		70115
Región 702	Amazonía Baja	70201
		70202
		70203
		70204
		70205
		70206
		70207
		70208
		70209
		70210
		70211
		70212
Región 705	Costa Norte	70501
		70504
		70505
	Costa Centro	70502
	Costa Sur	70503

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Regiones de clasificación para Bosque Inundable.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 701	Amazonía Alta	70101
		70102
		70103
		70104
		70105
		70106
		70107
		70108
		70109
		70110
		70111
		70112
		70113
		70114
		70115
Región 702	Amazonía Baja	70201
		70202
		70203
		70204
		70205
		70206
		70207
		70208
		70209
		70210
		70211
		70212

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Generación de mosaicos anuales

Los mosaicos utilizados para identificar las coberturas inundables fueron los mismos generados para el mapa general de la Colección 4.0. MapBiomás Perú. Como se detalla en el ATBD General, los mosaicos se construyeron a partir de las imágenes Landsat disponibles en las colecciones de Google Earth Engine para el área de estudio, utilizando como unidad de trabajo las cartas millonésimas mundiales². Se seleccionaron las escenas de mejor calidad que cubrían la mayor superficie posible por carta; y se les aplicó algoritmos Cfmask y CloudScore para enmascaramiento de nubes y sombras.

² Ver detalle completo en la sección 3.1.1. del ATBD General de MapBiomás Perú Colección 4.0.

Cada mosaico se formó con 156 bandas que contemplan, además de las bandas propias del satélite, índices espectrales derivados que utilizan los siguientes métodos de agregación³:

- Mediana (_median): Mediana por píxel de las imágenes correspondientes al periodo de mapeo óptimo definido para cada año⁴.
- 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 2025) 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 y LX: Combinación de escenas de Landsat 5 y Landsat 7.)
- 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 de mosaicos.

3.3. Variables de clasificación o feature space

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 Cap⁵ (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 3 a continuación.

³ Estos métodos de agregación se aplicaron a las imágenes Landsat seleccionadas por carta y a todos los índices espectrales derivados de ellas.

⁴ Se evaluó y definió un período 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.

⁵ Para este trabajo, los indicadores Tasseled Cap se calcularon a partir de las bandas espectrales de los mosaicos generados previamente, siguiendo el procedimiento descrito en el ATBD General de MapBiomass Perú Colección 4.0.

Tabla 3. Variables para la clasificación de coberturas inundables de la Colección 4.0., MapBiomias Perú

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	Mediana
evi2	Modificación del Índice de Vegetación	Mediana, Percentil 25% más seco
ndvi	Mejorado (EVI)	Mediana, Percentil 25% más seco
ndwi_gao	Índice de vegetación de diferencia normalizada	Mediana, Percentil 25% más seco
ndwi_mcfeters	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	Mediana, Percentil 25% más seco
mndwi	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeters)	Mediana, Percentil 25% más seco
savi	Índice de agua de diferencia normalizada	Mediana
sefi	Índice de vegetación ajustada al suelo	Mediana
mmri	Índice de fracción del ecosistema de sabana	Mediana, Percentil 25% más seco
T-cap	Índice de Reconocimiento Modular de Manglares	Mediana, Percentil 25% más seco
brightness*	Tasseled Cap que ajusta valores de brillo en suelo	Mediana
T-cap greenness	Tasseled Cap que ajusta valores de verdor en vegetación	Mediana
T-cap wetness	Tasseled Cap que ajusta valores de humedad	Mediana
slope	Pendiente	
slppost	Pendiente estratificada	
altitude	Altitud	

Fuente: Elaboración propia

*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 influenciado por las bandas en el IR medio y tiene que ver con la humedad vegetal y del suelo.

3.4. Clasificación

3.4.1. Mapas de referencia

A partir de los mosaicos/cartas generados, se seleccionaron aquellos correspondientes a las zonas de inundación. Para ello se utilizaron capas vectoriales de distintas fuentes, con el objetivo de establecer el límite de las áreas inundables que se iban a clasificar (ver Tabla 4 y 5). Todos los mosaicos/carta ubicados dentro de estas áreas se utilizaron para generar las clasificaciones, y se excluyeron del procesamiento los que estaban fuera de ellas.

Tabla 4. Capas de referencia utilizadas para el bioma Amazonía.

Referencia	Fuente
Mapa Global de Humedales Producido por el Programa de Mitigación y Adaptación Sostenible de Humedales (SWAMP)	CIFOR, USAID y CGIAR - FTA https://www2.cifor.org/global-wetlands/
Mapa global de humedales a partir de imágenes de aguas superficiales y limitaciones de aguas subterráneas.	A. Tootchi, Anne Jost, and Agnès Ducharme. 2018 https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.892657?format=html#download
Ecosistemas terrestres (WWF)	https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world
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.
Coberturas de la Tierra en la Amazonia colombiana. Escala 1:100.000. Año: 2012, 2014, 2016, 2018. Melack JM, Hess LL; 2010. pp. 43–59	http://geoservicios.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search?sessionId=97B6F80606F3D7E735B92FA7456F174E#/metadata/285c4d0a-6924-42c6-b4d4-6aef2c1aceb5
Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Escala 1:2 200 000	MINAM, 2019
Sistemas acuáticos. Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia (2a edición). Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.	Fundación Amigos de la Naturaleza. 2016. https://issuu.com/fundacionamigosdelanaturaleza/docs/atlas
Biodiversidad, Conservación y Manejo en la Región de la Reserva de la Biosfera Estación Biológica del Beni, Bolivia/Biodiversity, Conservation and Management in the Region of the Beni Biological Station Biosphere Reserve, Bolivia.	Herrera-MacBryde, O., F. Dallmeier, B. MacBryde, J. A. Comiskey and C. Miranda (eds). 2000.
Diversidad biológica en la llanura de inundación del Río Mamoré. Importancia ecológica de la dinámica fluvial. Centro de Ecología Simón I. Patiño. Bolivia.	Pouilly M., S.G. Beck, M. Moraes R., C. Ibañez 2004. https://www.apmim.cibioma.edu.bo/biblioteca/Diversidad_Biologica_en_la_llanura_de_inundacion_d.pdf

Visión de Conservación de la Biodiversidad del Corredor Amoro - Madidi. FAN/WWF/TNC/CI. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Ibisch, P.L., N. Araujo & C. Nowicki (eds.). 2007
https://www.researchgate.net/publication/285379876_31_Ecoregiones_y_ecosistemas

Mapa de Ecosistemas
 Modelamientos biofísicos, interpretación de imágenes satelitales (2010-2012) y validación en campo.

MAAE, 2012
 (https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Capas de referencia utilizadas para el bioma Desierto Costero.

Referencia	Fuente
Mapa Global de Humedales Producido por el Programa de Mitigación y Adaptación Sostenible de Humedales (SWAMP)	CIFOR, USAID y CGIAR - FTA https://www2.cifor.org/global-wetlands/
Mapa global de humedales a partir de imágenes de aguas superficiales y limitaciones de aguas subterráneas.	A. Tootchi, Anne Jost, and Agnès Ducharme. 2018 https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.892657?format=html#download
Ecosistemas terrestres (WWF)	https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Muestras de entrenamiento

La estrategia para la obtención de las muestras de entrenamiento fue diferenciada según el bioma, debido a las características particulares de las coberturas inundables y a la disponibilidad de información de referencia.

En el bioma Amazonía, las muestras de entrenamiento se obtuvieron a partir de la identificación de píxeles estables de las coberturas inundables utilizando como referencia la Colección 6.0 de MapBiomias Amazonía. Para ello, se consideraron las clases utilizadas para representar las coberturas inundables de interés y se generaron áreas de referencia para las clases Bosque inundable (ID 6) y Formación herbácea inundable (ID 11).

Los píxeles correspondientes a las áreas no inundables se obtuvieron a partir de la intersección entre los mapas de referencia y los píxeles estables correspondientes al resto de coberturas. Adicionalmente, se implementaron geometrías de inclusión y exclusión para ajustar las zonas de muestreo y reducir posibles errores asociados a inconsistencias en las capas de referencia.

Para la identificación de las coberturas inundables en Amazonía se utilizaron las clases de la Colección 6.0 de MapBiomias Amazonía indicadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Clases de la Colección 6.0 de MapBiomias Amazonía utilizadas como referencia para la obtención de muestras de entrenamiento en zonas inundables.

País	Coberturas (IDs) de la colección 6.0. utilizadas para identificar Bosque inundable	Coberturas (IDs) de la Colección 6.0 utilizadas para identificar Formación herbácea inundable
Perú	3, 6	11, 13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Mapas de referencia de Bosque inundable.

Referencia	Perú
Accumulated Flooded col6	sí
Stable Flooded col6	sí
Global Flood Plain 250M-2019	sí
Referencia nacional	sí

Fuente: Elaboración propia.

En el bioma Desierto Costero, la estrategia de muestreo fue diferente. Para estas regiones se reutilizaron las muestras y fuentes de referencia desarrolladas en la Colección 2 de MapBiomias Perú a partir de las cuales se generaron y ajustaron las muestras de entrenamiento. Entre los insumos utilizados se consideraron el acumulado de coberturas inundables de la Colección 2, las áreas estables identificadas en dicha colección y otras fuentes de referencia disponibles para las zonas inundables.

Debido a la elevada variabilidad temporal de la Formación herbácea inundable (ID 11) en el Desierto Costero, las muestras fueron revisadas y ajustadas de acuerdo con las condiciones observadas en cada región y período de análisis. La clasificación se realizó de manera binaria, utilizando muestras correspondientes a Formación herbácea inundable (ID 11) y a la clase complementaria No Formación herbácea inundable (ID 27).

Tabla 8. Mapas de referencia de Formación herbácea inundable en humedales.

Referencia	Perú
Accumulated Flooded col2	sí
Referencia nacional	sí

Fuente: Elaboración propia

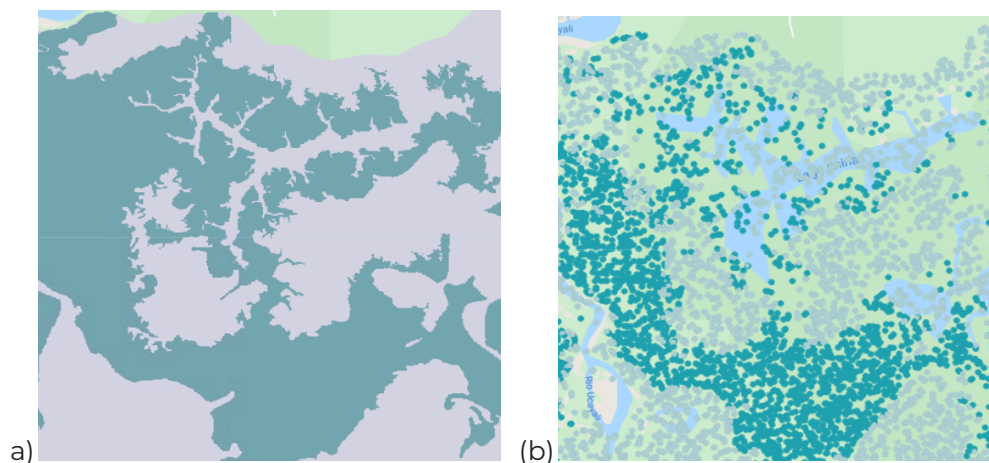


Figura 4. Ejemplo de muestras de entrenamiento (b) sorteadas aleatoriamente para cobertura inundable (celeste) y no inundable (gris), a partir del mapa de referencia (a) en el bioma Amazonía.

3.4.3. Algoritmos de clasificación

A partir de los mosaicos/carta seleccionados mencionados en la sección 3.2. se realizó una clasificación supervisada basada en el algoritmo Random Forests (Breiman, 2001) usando una configuración de 50 árboles en todas las regiones de clasificación descritas en las Tablas 1 y 2. 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.

En el bioma Amazonía la detección de coberturas se enfocó en la identificación de las dos principales clases presentes en las zonas de inundación de la región: 6) Bosque inundable, 11) Formación herbácea inundable. El proceso de clasificación se realizó por separado para ambas coberturas, considerando dos clases posibles en cada caso: la clase de interés Bosque inundable (ID 6) o Formación herbácea inundable (ID 11) y la clase complementaria (ID 27), correspondiente a todo aquello que no pertenece a la clase de interés.

La clase Bosque inundable se definió como toda área continua de cobertura predominantemente arbórea natural mayor a media hectárea (circa > 6 píxeles Landsat o 0.5 ha) inundada estacional o permanentemente.

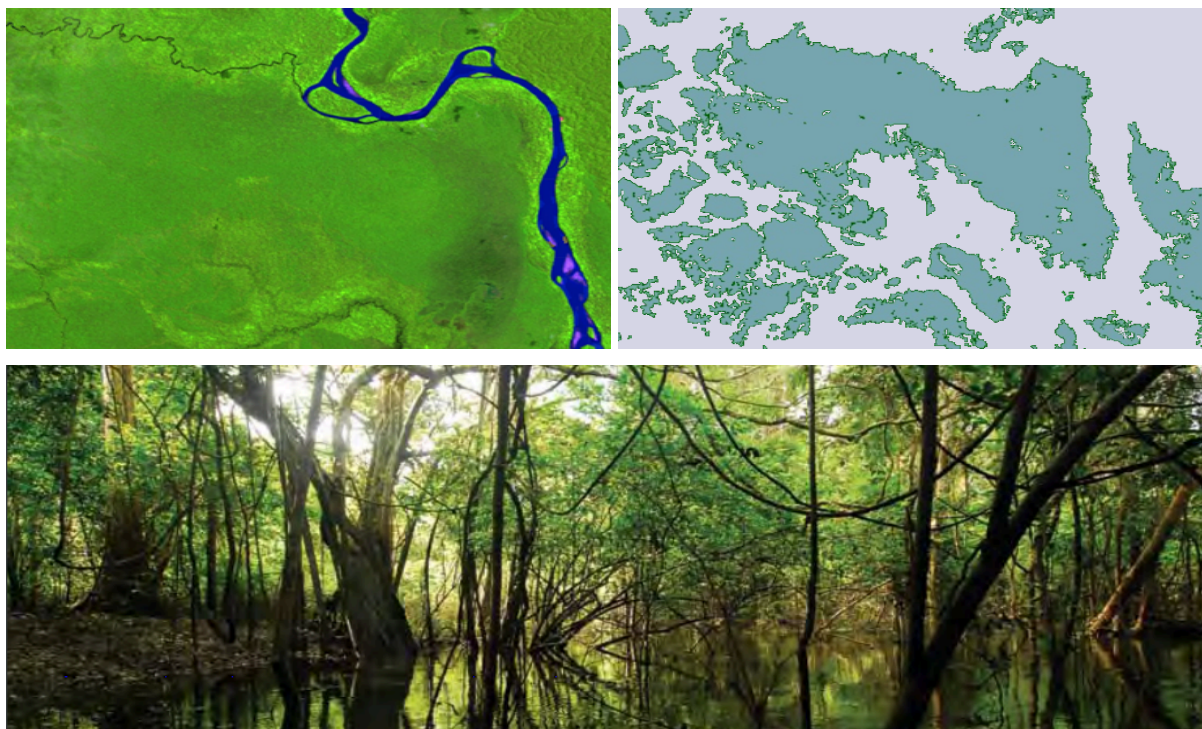


Figura 5. Imágenes de referencia para la clase Bosque inundable. Arriba a la izquierda: mosaico Landsat (RGB). Arriba a la derecha: clasificación de coberturas (Leyenda Bosque inundable, Zonas sin bosque inundable). Abajo: fotografía del paisaje.

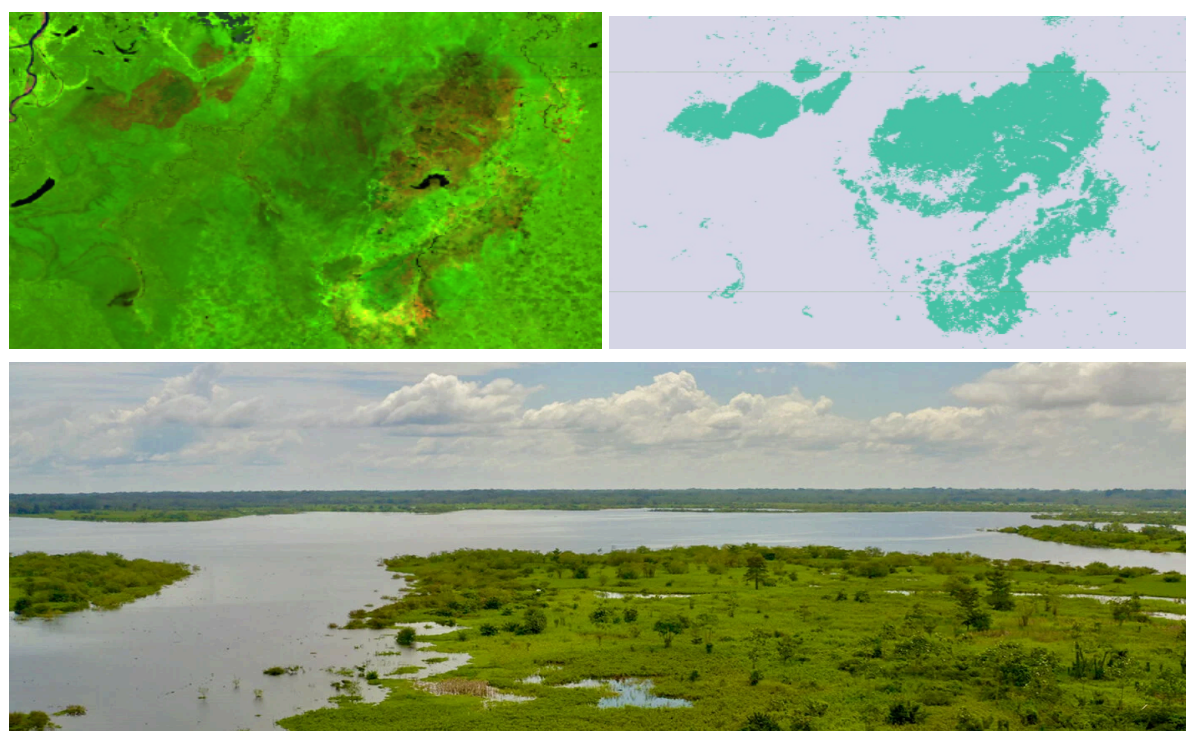


Figura 6. Imágenes de referencia para la clase Formación herbácea inundable (sabana). Arriba a la izquierda: mosaico Landsat (RGB), Arriba a la derecha: clasificación de coberturas (Formación herbácea inundable (sabana), Zonas sin Formación herbácea inundable). Abajo: Fotografía del paisaje.

En el bioma Desierto Costero el proceso de clasificación contempló Formación herbácea inundable (ID 11) y la clase No Formación herbácea inundable (ID 27) definida como todo lo diferente a la clase de interés.

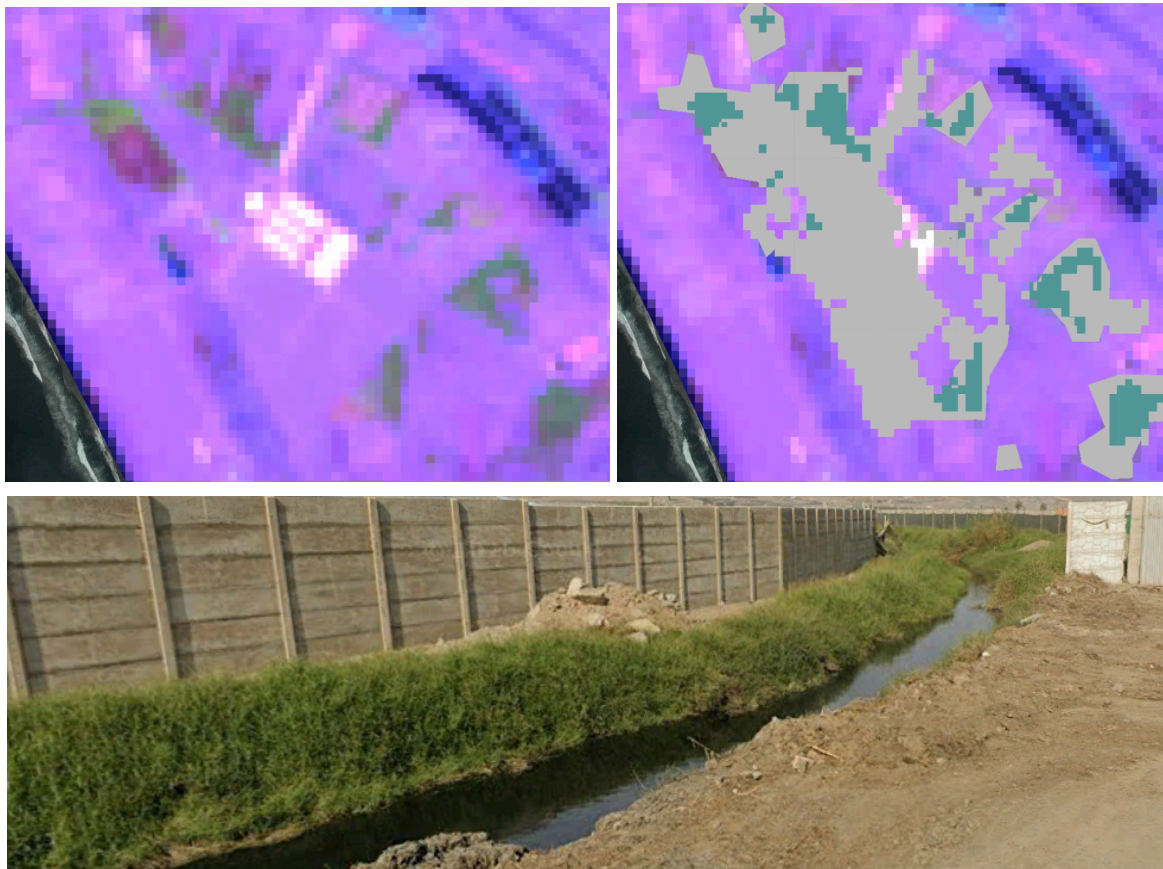


Figura 7. Imágenes de referencia para la clase Formación herbácea inundable en Pantanos de Ventanilla. Arriba a la izquierda: mosaico Landsat (RGB), Arriba a la derecha: clasificación de coberturas (Formación herbácea inundable, No Formación herbácea inundable). Abajo: Fotografía del paisaje.

3.5. Posclasificación

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 posclasificación. El proceso de posclasificación incluye la aplicación de filtros de relleno, temporal, espacial y de frecuencia.

3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill

La secuencia de filtros comienza con el relleno de vacíos de información. En una serie de tiempo larga de regiones severamente afectadas por nubes, se espera que los vacíos puedan ocurrir en el resultado de la mediana. En este filtro, los vacíos son reemplazados por la

clasificación temporalmente más cercana (ver Figura 8). En este procedimiento, si no hay disponibilidad de un valor en el año precedente, entonces el espacio se reemplaza con el valor del año siguiente. Por lo tanto, las brechas solo deberían existir si un píxel dado se ha clasificado permanentemente como sin información en toda la serie temporal.

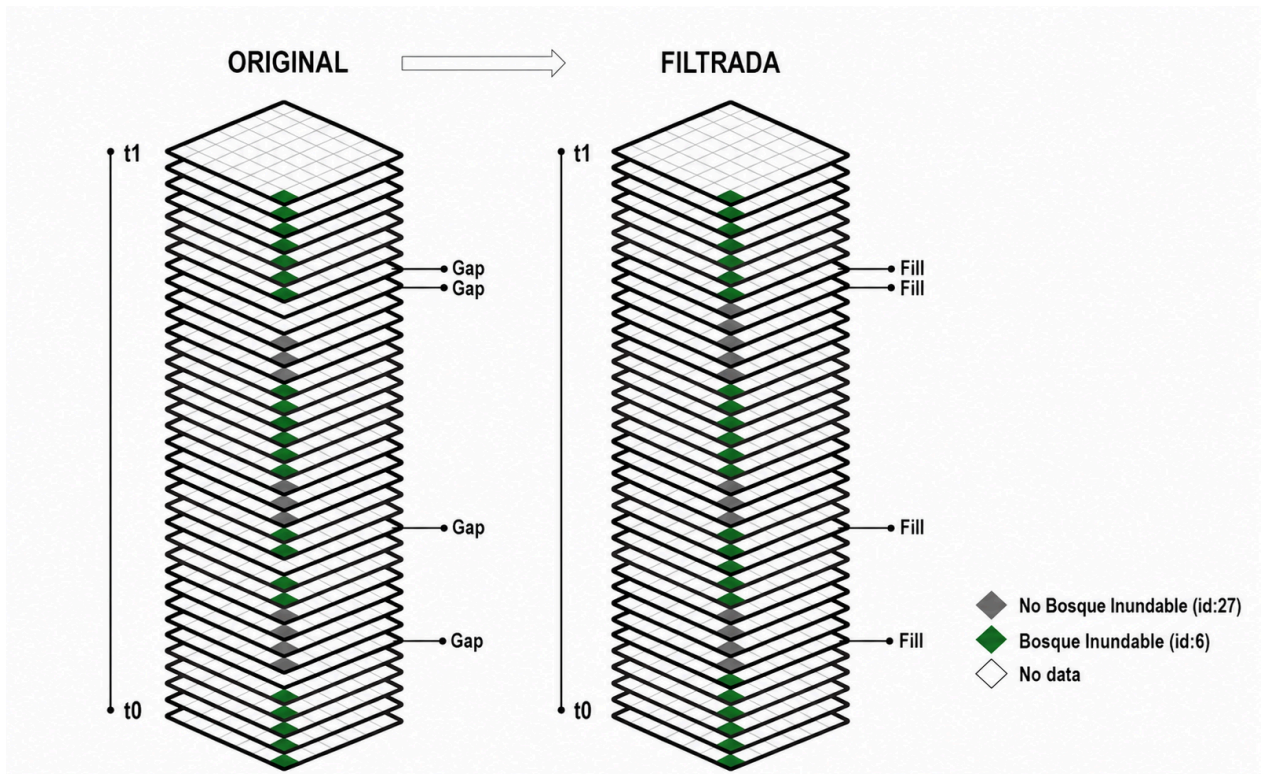


Figura 8. Esquema de funcionalidad ejemplo de filtro Gap Fill para la clase Bosque Inundable, en donde t0 representa el primer año y t1 el último año.

3.5.2. Filtro Temporal

Después del llenado de vacíos, se ejecutó un filtro temporal. El filtro temporal utiliza clasificaciones secuenciales en una ventana móvil unidireccional de 3, 4 o 5 años para identificar transiciones temporalmente incoherentes. Dependiendo del año que la regla modificará, existen tres tipos de reglas:

Reglas generales (RG): Aplicadas a todos los años intermedios de la serie (1986 - 2024).

Reglas de primer año (RP): Aplicadas al 1985.

Reglas de último año (RU): Aplicadas al 2025, el filtro temporal inspecciona el año de interés y reclasifica el píxel central.

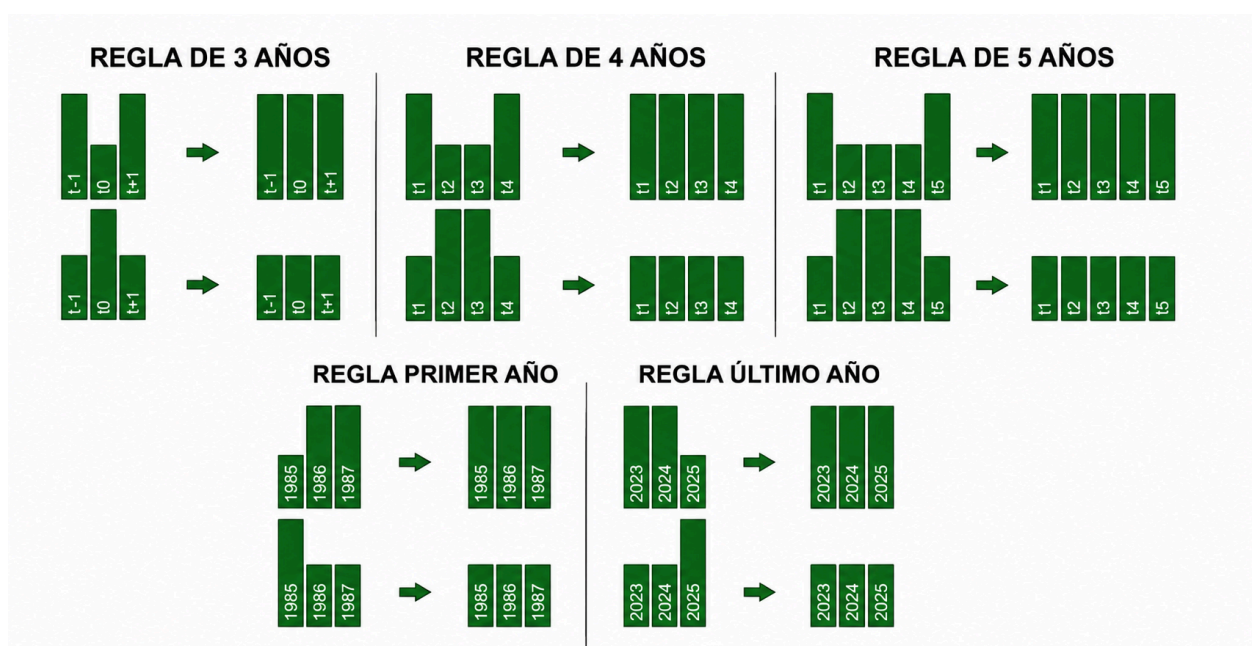
De este modo, los filtros temporales reducen vacíos de información e inconsistencias temporales o cambios que no son posibles o no están permitidos (ver Tabla 9).

Tabla 9. Reglas de aplicación de filtro temporal y resultados.

	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		

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Donde RG es una regla general, aplicada a todos los años intermedios (1986–2024); RP es una regla de primer año, aplicada solo al año 1985; y RU es una regla de último año, aplicada al año 2025. T0 es el año sobre el cual se aplica el filtro, T-n corresponde a los años anteriores y T+n a los años posteriores. Bi: Bosque inundable. Fi: Formación herbácea inundable. No: clase complementaria (ID 27), correspondiente a No Bosque inundable o No Formación herbácea inundable, según la clase evaluada.

**Figura 9.** Esquema de funcionalidad de filtro temporal.

Este filtro no se aplicó en la clasificación de Formación herbácea inundable del Desierto Costero debido a la alta variabilidad temporal que tiene esta clase a lo largo de los años 1985 a 2025.

3.5.3. Filtro espacial

El filtro espacial está basado en la función "connectedPixelCount", que identifica al conjunto de píxeles (vecindario) que comparten un mismo valor de píxel. En consecuencia, sólo los píxeles que no presentan conexión considerando una cantidad mínima predefinida de

píxeles idénticos son definidos como píxeles aislados y reclasificados (ver Figura 10). Para ambas clases, la conexión mínima establecida fue de 5 píxeles (aprox. 0.5 ha).

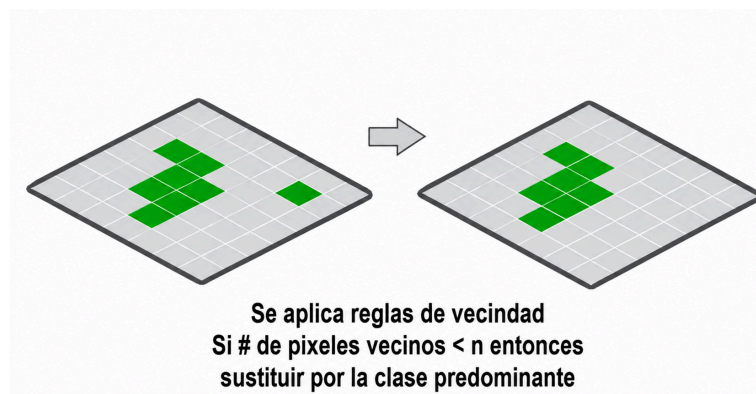


Figura 10. Esquema de funcionalidad de filtro espacial.

3.5.4. Filtro de frecuencia

Otro filtro disponible en la secuencia fue el filtro de frecuencia. Como se muestra en la Figura 11, este filtro considera la ocurrencia de la clase a lo largo de la serie temporal para limpiar el resultado de la clasificación.

Por un lado, este filtro contribuyó a completar clasificaciones en zonas de nubes que el filtro temporal no pudo recuperar. Considerando que la clase Formación herbácea inundable se caracteriza por una alta dinámica de humedad en el tiempo (aumento y reducción de superficie inundada), a esta solo se le aplicó un filtro de 80%. Es decir, los vacíos de información eran rellenados siempre y cuando la clase cumpliera una persistencia temporal de 33 años o más. En cuanto al Bosque inundable, el valor aplicado fue un poco más flexible (60%) considerando que la cobertura es más estable en el tiempo y fue bien detectada en la mayoría de las regiones.

Por otro lado, el filtro fue ajustado para ser utilizado como identificador de ruidos temporales y malas clasificaciones. En contraste con los valores utilizados para la función anterior, en esta ocasión todos aquellos píxeles de Formación herbácea inundable que no superaron el 20 % de frecuencia en la serie temporal fueron excluidos de la clasificación; mientras que en la clasificación de Bosque inundable, los píxeles con frecuencia menor a 40% fueron eliminados.

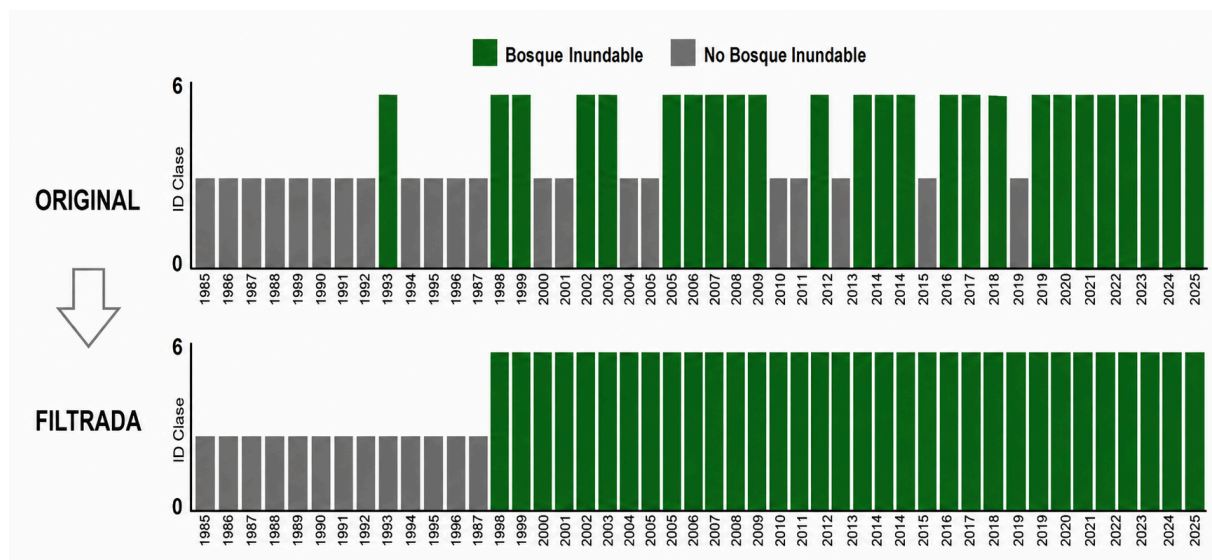


Figura 11. Esquema de funcionalidad de filtro frecuencia.

Nota: Áreas en color gris no cumplen con las reglas de frecuencia aplicadas, por ende son eliminadas de la clasificación; en tanto, las áreas de color verde sí cumplen con el criterio de frecuencia, por lo cual permanecen en la clasificación.

Por otro lado, este filtro no se aplicó en la clasificación de Formación herbácea inundable en Desierto Costero debido a la alta variabilidad temporal que tiene esta clase a lo largo de los años 1985 a 2025.

3.6. Integración

Luego de la aplicación de la secuencia de filtros en la etapa de posclasificación, 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 clase⁶. Los resultados de Bosque inundable (ID 6) y Formación herbácea inundable (ID 11), obtenidos mediante clasificaciones independientes, fueron posteriormente integrados de acuerdo con las reglas de prevalencia y el orden jerárquico establecidos para la Colección 4.0 de MapBiomias Perú, descritos en el ATBD General.

3.7. Resumen metodológico

El proceso completo se dividió en tres etapas principales: (I) definición y construcción de los mosaicos satelitales, (II) clasificación de los mosaicos satelitales, y (III) aplicación de filtros posclasificación. Cada etapa constó de varios pasos, que incluyeron recopilación de datos de referencia, definición de zonas de muestreo y clasificaciones preliminares de prueba (ver Figura 12)

⁶ Para más información, consultar el ATBD General de la Colección 4.0. de MapBiomias Perú.

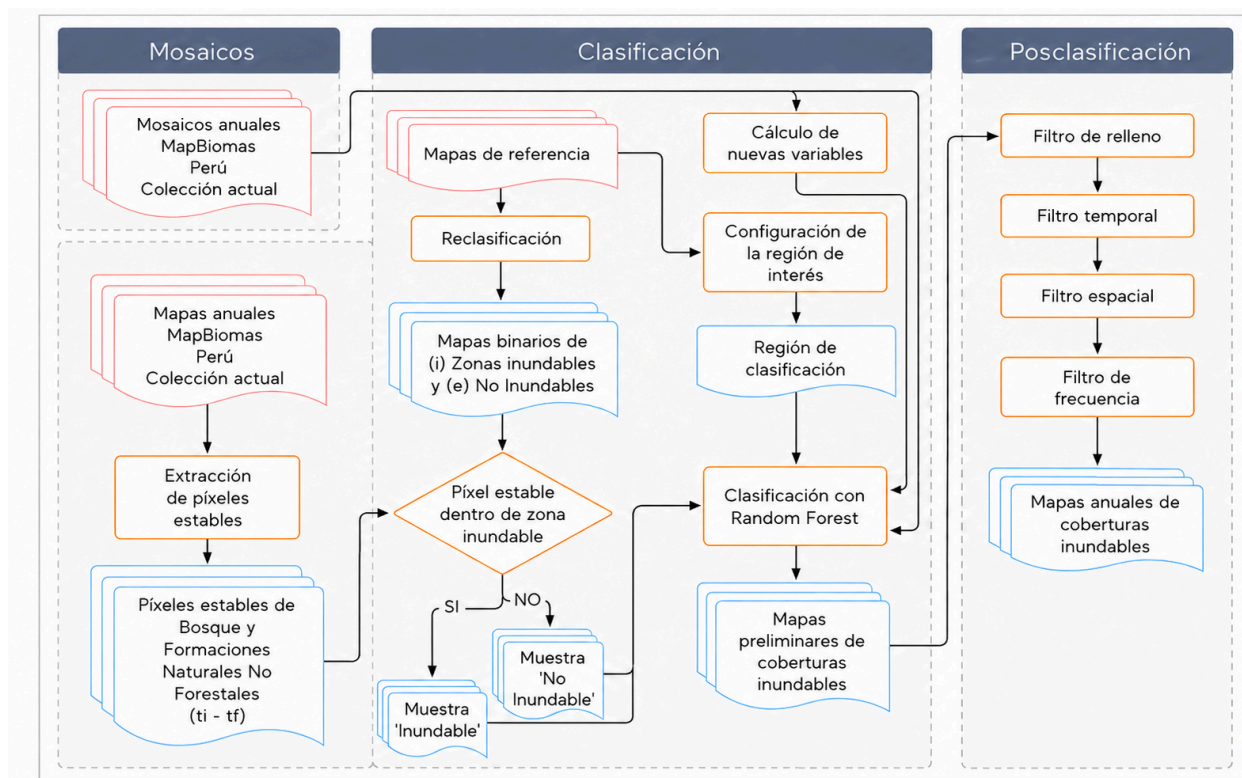


Figura 12. Diagrama metodológico para la identificación de coberturas inundables. En donde “ti” representa al primer año y “tf” representa al último año.

4. Referencias

- Bravo, A., & Valero, E. (2024). *Colección 6.0: Apéndice – Coberturas inundables*. MapBiomás Amazonía. [Documento PDF](#)
- CIFOR. (s.f.) Global Wetlands Map. Sustainable Wetlands Adaptation and Mitigation Program (SWAMP). https://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/AGumbricht1701.pdf
- 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>.
- Instituto Sinchi. (2009a). Bosque denso alto inundable. Fichas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia Colombiana. Bogotá D.C.
- Instituto Sinchi. (2009b). Herbazal denso inundable arbolado. Fichas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia Colombiana. Bogotá D.C.
- Kauth, R. J. and Thomas, G. S. (1976) – The tasselled cap – a graphic description of the spectraltemporal development of agricultural crops as seen by Landsat.

Lasso et al. (2014). Humedales de la Orinoquia (Colombia- Venezuela). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.

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.

Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Proyecto Mapa de Vegetación del Ecuador. Dirección Nacional Forestal 143 pp.

Ministerio del Ambiente - MINAM (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas. Memoria Descriptiva. Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental - DGOTA

Olson DM, Dinertstein E, Wikramanayake ED, et al. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. Bioscience. 2001;51: 933–938.

Pekel et al. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature volume 540. doi:10.1038/nature20584.

Rodríguez et al.(2010) Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela. Provita, Caracas, Venezuela.

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>

Yamazaki et al. (2019) MERIT Hydro A High-Resolution Global Hydrography Map Based on Latest Topography Dataset. Water Resources Research 55(6).

Wittmann et al. (2002) BOSQUES INUNDABLES DE LA AMAZONÍA: AMBIENTES ACUÁTICOS ESTRATÉGICOS" en BOSQUES DEL MUNDO, CAMBIO CLIMÁTICO & AMAZONÍA (pp.147-157).