



Apéndice - Playas, Dunas y Bancos de Arena

Tema transversal en Colección 3.0

Versión 1

Responsable

Pedro Pablo Fuentes

Colaboración

Katherin Aleli Ivala

ÍNDICE

1. Introducción	2
1.1. Área de Estudio	2
1.2. Metodología General	5
2. Mosaicos de Imágenes	5
3. Clasificación	6
3.1. Clases de Interés	6
3.1.1. Playas, Dunas y Bancos de Arena (ID 23)	7
3.1.2. No Observado (ID 27)	8
3.2. Variables de Clasificación	9
3.3. Mapas de Referencia	10
3.4. Árboles de Decisión	10
4. Post - Clasificación	11
4.1. Filtro de Relleno (Gap Fill)	11
4.2. Filtro Espacial	12
4.3. Remap	13
5. Validación	14
6. Recomendaciones	14
7. Referencias	17

1. Introducción

El objetivo de este documento es presentar una descripción de la metodología aplicada para el mapeo de las playas en ríos y meandros (ríos danzantes) pertenecientes a la cuenca Amazónica desde el año 1985 hasta el 2023, como parte de la Colección 4 de MapBiomás Amazonía. Los productos de tema transversal "Playas, Dunas y Bancos de Arena" están compuestos de mapas anuales de 30 metros de resolución espacial.

La metodología utiliza mosaicos anuales de imágenes de satélite Landsat para generar un mapeo anual de acumulación de arena, grava y sedimentos en los ríos y meandros del bioma Amazonia, diferenciando entre Amazonía Alta y Amazonía Baja, utilizando una metodología basada en el algoritmo de machine learning "Random Forest" combinado con árboles de decisión empírica.

1.1. Área de Estudio

El ámbito de trabajo es la extensión territorial del Perú correspondiente al bioma Amazonia, con una extensión aproximada de 784,754.29 km². Esta área representa el 60,63% del territorio nacional. Se definieron nueve regiones: cuatro correspondientes a Amazonía Alta y cinco correspondientes a Amazonía Baja (Figura 1).



Figura 1. Regiones de clasificación para el bioma Amazonia.

Para definir las regiones de clasificación se emplearon criterios técnicos sobre la distribución de cuerpos de agua con acumulación de sedimentos a partir de mapas nacionales de referencia y a la continuidad de los ríos principales en la cuenca Amazónica. Las referencias utilizadas fueron:

- Mapa de Ecorregiones del Perú (SIGMINAM-DGOTA, 2017)
- Mapa Fisiográfico del Perú (INRENA, 2002)
- Mapa de Regiones Hidrográficas del Perú (MINAM-ANA)
- Modelo digital de elevación SRTM de 90 m

En la Tabla 1 se listan las regiones utilizadas para la clasificación y sus características.

Tabla 1. Características de las regiones de clasificación para el bioma Amazonia

Región	ID	Área (km²)	Descripción	Ríos principales
Amazonía Alta 01	70101	33297.77	Zona de Amazonía Alta que incluye los departamentos de Cajamarca, Amazonas y Loreto. El relieve es accidentado con clima tropical, húmedo y lluvioso propio de la selva amazónica. La temperatura promedio es de 25 °C.	Río Marañón
Amazonía Alta 02	70102	68397.19	Zona de Amazonía Alta que incluye los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto y Ucayali. El clima es cálido en los márgenes del río Huallaga y templado en las cumbres de la cordillera Central. La temperatura promedio es de 23 °C.	Río Huallaga, Río Monzón, Río Mayo, Río Huayabamba
Amazonía Alta 03	70103	46313.85	Zona de Amazonía Alta que incluye los departamentos de Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho y Ucayali. Posee un clima semicálido muy húmedo, con precipitaciones elevadas y temperatura promedio de 22 °C.	Río Ene, Río Apurímac, Río Mantaro
Amazonía Alta 04	70104	49471.96	Zona de Amazonía Alta que incluye los departamentos de	Río Vilcanota, Río Alto Madre de Dios

			Junín, Cusco, Puno y Madre de Dios. Posee un clima templado, con precipitaciones moderadas y temperatura promedio de 12 °C.	
Amazonía Baja 01	70201	155388.42	Zona de Amazonía Baja que incluye el departamento de Loreto. El relieve se compone de zonas de llanura aluvial inundable estacional y permanente, con pantanos y llanuras meandricas. Posee un clima cálido, húmedo y tropical.	Río Amazonas, Río Napo, Río Putumayo
Amazonía Baja 02	70202	222053.31	Zona de Amazonía Baja que incluye los departamentos de Amazonas, Loreto y San Martín. El relieve se compone de zonas de llanura aluvial inundable estacional y permanente, con pantanos y llanuras meandricas. Posee un clima cálido, húmedo y tropical.	Río Amazonas, Río Marañón, Río Ucayali, Río Tigre, Río Huallaga
Amazonía Baja 03	70203	63683.98	Zona de Amazonía Baja que incluye los departamentos de Huánuco, Pasco y Ucayali. El clima es el perteneciente al bosque húmedo tropical (cálido) y las lluvias son abundantes pero no como en la Selva Alta.	Río Vilcanota, Río Tambo, Río Ucayali, Río Aguaytia
Amazonía Baja 04	70204	90073.51	Zona de Amazonía Baja que incluye los departamentos de Ucayali, Cusco y Madre de Dios. El clima es el perteneciente al bosque húmedo tropical (cálido) y las lluvias son abundantes pero no como en la Selva Alta.	Río Purús, Río Las Piedras, Río Curanja, Río Vilcanota, Río Yuruá
Amazonía Baja 05	70205	45650.08	Zona de Amazonía Baja que incluye los departamentos de Madre de Dios y Puno. El clima es tropical, cálido, húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 1000 mm. En años excepcionales el territorio es invadido por masas de aire frío provenientes del sur durante los	Río Madre de Dios, Río Tambopata, Río Alto Madre de Dios

			meses de julio y agosto (frijoles).	
--	--	--	-------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

1.2. Metodología General

En la Colección 4 de MapBiomias Amazonía, para el mapeo de los sedimentos acumulados en playas y meandros se usó una metodología basada en machine learning y árboles de decisión empírica. (Figura 2)

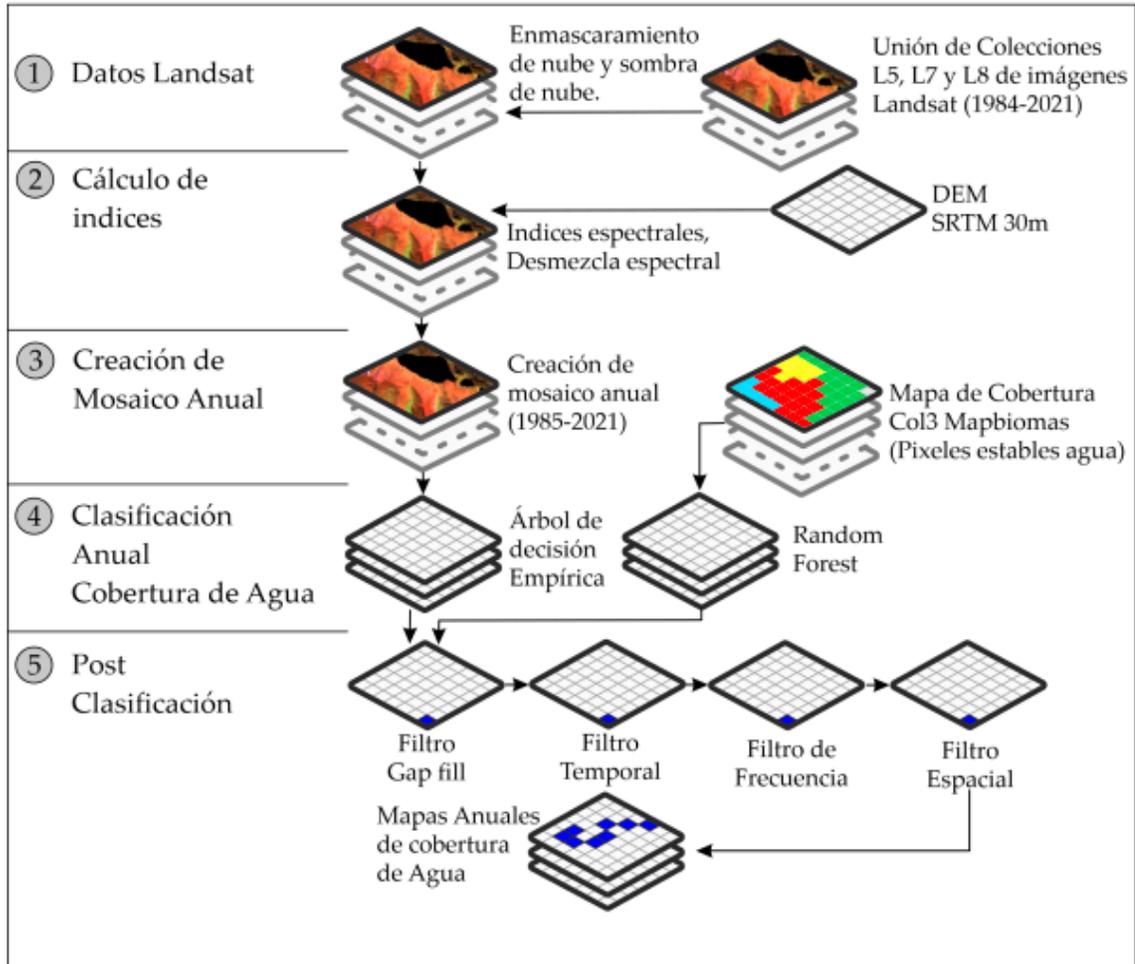


Figura 2. Diagrama de flujo metodológico para la obtención de mapas de sedimentos.

2. Mosaicos de Imágenes

La clasificación del tema transversal "Sedimentos en Playas y Meandros" utilizó los mosaicos de imágenes Landsat generados para el mapa general de la Colección 4 MapBiomias Amazonía. Estos mosaicos contemplaban imágenes que van entre 1985-2023, utilizando imágenes de Landsat 5, 7, 8 y 9. (Figura 3).

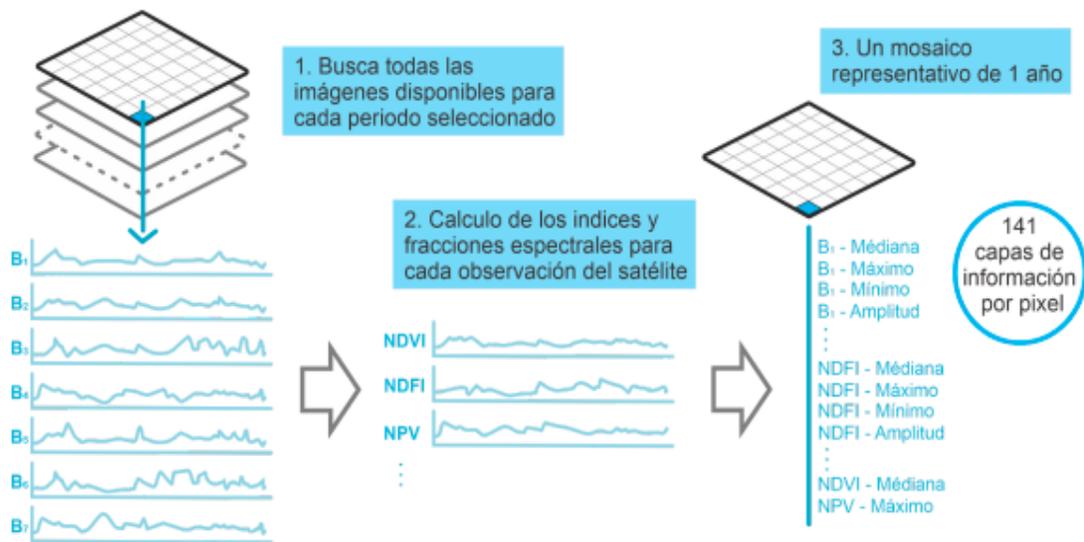


Figura 3. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.

3. Clasificación

La clasificación de los mosaicos Landsat se realizó íntegramente en la plataforma Google Earth Engine, basada en árboles de decisión empírica (ADE) y el clasificador Random Forest (RF). La clasificación se basó en regiones de clasificación para aplicar diferentes técnicas y parámetros. En el bioma Amazonía, en la región de Amazonía Alta se utilizó periodos de recolección de muestras más amplios que en Amazonía Baja.

3.1. Clases de Interés

El proceso de clasificación genera mapas binarios (mapas con dos clases) que consideran únicamente dos posibilidades para cada píxel: la clase de interés (playas, dunas o bancos de arena formados en las cuencas por acumulación de sedimentos), y todas las demás clases (todo lo diferente a la clase de interés). (Figura 4)



Figura 4. Ejemplo de clasificación de playas dentro de la máscara de ríos.

Como muestras de entrenamiento para la clasificación supervisada se utilizaron puntos basados en mapas de referencia secundarios, como también puntos obtenidos de la Colección 3 de MapBiomás Amazonía. Los detalles de los parámetros, los mapas de referencia utilizados y el conjunto de variables producido para cada clasificación se presentan en las siguientes secciones.

3.1.1. Playas, Dunas y Bancos de Arena (ID 23)

Esta clase corresponde a las playas, dunas y bancos de arenas formadas dentro de las cuencas de los ríos por acumulación de rocas, grava, arena y sedimento arrastrado por el cauce y depositado en pequeñas islas o en los bordes del río. Este fenómeno es más notorio en los ríos meándricos de la Amazonía Baja, dado que por su geometría sinusoidal tienden a erosionar el margen externo del río y depositar material en el margen interno, formando playas de naturaleza dinámica. (Figura 5)



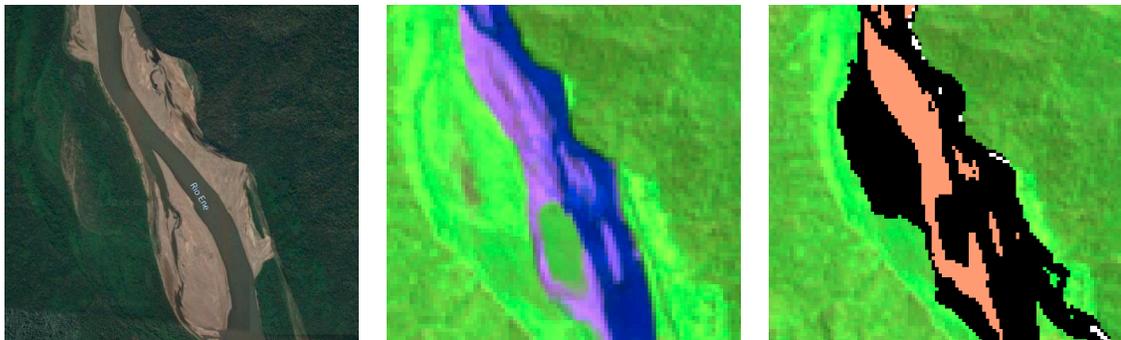
Google Earth Satellite

Landsat RGB 654

Clasificación MapBiomas

Figura 5. Respuesta espectral de las playas en Amazonía Baja, Río Ucayali, 2022.
Coordenadas geográficas (-74.41446, -8.67047)

En la Amazonía Alta la acumulación de sedimentos suele darse de forma estacional por el aumento del caudal del río debido a las lluvias y la inundación de áreas cercanas al borde del cauce. Sin embargo, debido a que la máxima del caudal de los ríos de Amazonía Alta es bastante menor a comparación de los ríos de Amazonía Baja el desplazamiento de los sedimentos acumulados suele ser mínimo a lo largo del tiempo, formando playas de naturaleza estática. (Figura 6)



Google Earth Satellite

Landsat RGB 654

Clasificación MapBiomas

Figura 6. Respuesta espectral de las playas en Amazonía Alta, Río Ene, 2022.
Coordenadas geográficas (-74.07701, -11.54777)

3.1.2. No Observado (ID 27)

Áreas que no han podido ser identificadas en sus clases por presencia de nubes, sombra de nubes, ruido atmosférico o calidad de las imágenes de satélite. En algunos casos estas áreas cubren cuerpos de agua sin presencia de sedimentos como humedales, lagunas o cochas.

3.2. Variables de Clasificación

En la Tabla 2 se listan los índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación.

Tabla 2. Índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación

Banda	Descripción	Fórmula	Reductor
blue	Valor de la banda azul de Landsat	B1 (L5 y L7); B2 (L8)	Median
green	Valor de la banda verde de Landsat	B2 (L5 y L7); B3 (L8)	Median
red	Valor de la banda roja de Landsat	B3 (L5 y L7); B4 (L8)	Median
nir	Valor de la banda NIR de Landsat	B4 (L5 y L7); B5 (L8)	Median
swir1	Valor de la banda SWIR1 de Landsat	B5 (L5 y L7); B6 (L8)	Median
swir2	Valor de la banda SWIR2 de Landsat	B7 (L5); B8 (L7); B7 (L8)	Median
ndvi	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	Median
evi2	Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que solo utiliza NIR y Red, obviando la banda azul.	$(2.5 * (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + 2.4 * \text{Red} + 1))$	Median
ndwi_mcfeters	Índice de Agua de Diferencia Normalizada (mcfeters)	$(\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$	Median
mndwi	Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado	$(\text{Green} - \text{SWIR1}) / (\text{Green} + \text{SWIR1})$	Median
soil	Abundancia fraccional de suelo dentro del pixel		Median
shade_mask2	Mapa de sombras		

Fuente: MapBiomás Amazonia (2023)

3.3. Mapas de Referencia

Para el entrenamiento del clasificador Random Forest se utilizaron los píxeles estables de playas (píxeles que no presentaron cambios) de los mapas de la Colección 3 de MapBiomias Amazonía. Las máscaras de clasificación usadas provienen del acumulado de aguas (ID 33) de la Colección 2 de MapBiomias Agua (1985 - 2022).

Adicionalmente, se agregaron geometrías de inclusión y exclusión para sumar o restar zonas aledañas a la máscara, dependiendo si hubo un aumento o disminución del caudal respectivamente. La dinámica de los ríos danzantes de la Amazonía Baja se puede ver ejemplificada en la Figura 7 a continuación.

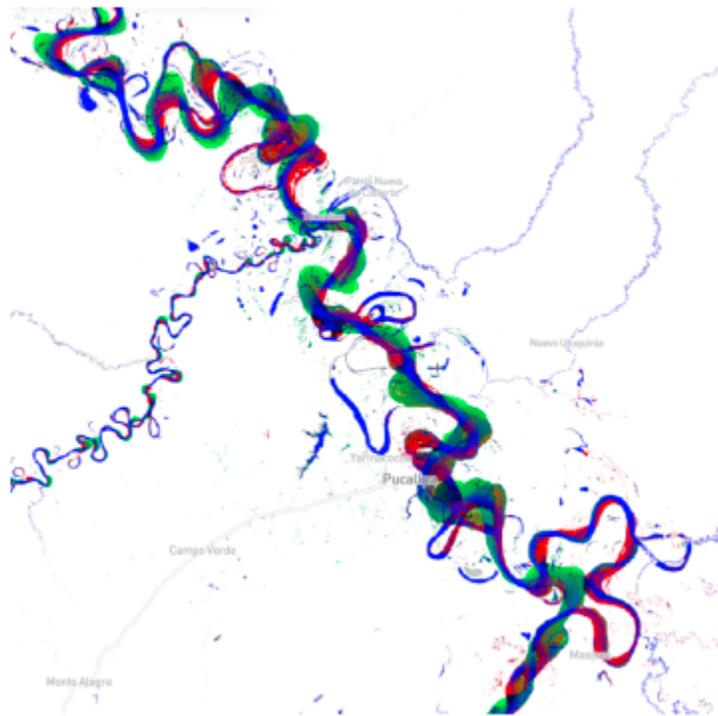


Figura 7. Dinámica de ríos danzantes en Pucallpa, Ucayali, Amazonía peruana. El color verde y rojo representan los incrementos y decrementos de agua entre 1985 y 2022.

3.4. Árboles de Decisión

Las regiones clasificadas con el método de clasificación mediante árboles de decisión empíricos (ver Tabla 2), ajustaron los parámetros de clasificación del siguiente árbol de decisión (Figura 8):

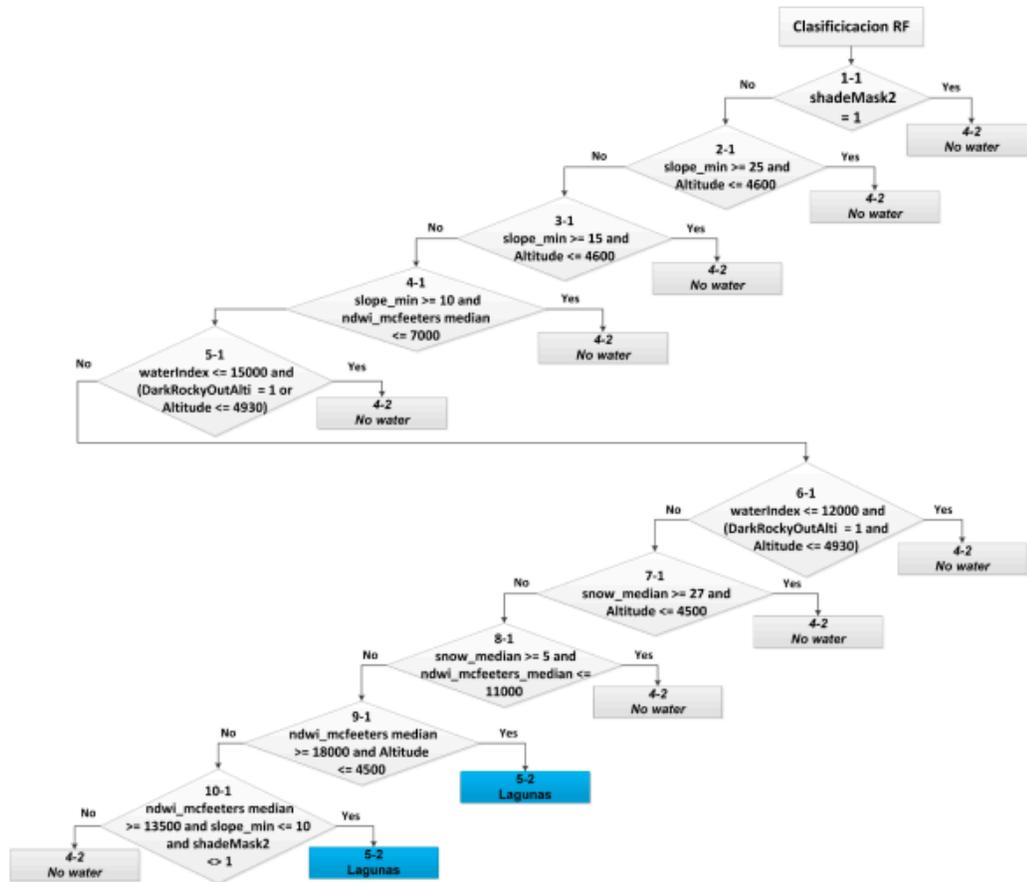


Figura 8. Random Forest y Árbol de decisión para la clasificación de cuerpos de agua (Id: 33) empleado para la Colección 4 de MapBiomias Amazonía.

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 clasificación posterior. El proceso de post clasificación incluye la aplicación de filtros de relleno, espacial y remap.

4.1. Filtro de Relleno (Gap Fill)

Al tener una serie temporal tan extensa se asume que habrá regiones o años en los cuales la información no sea de buena calidad, en especial al inicio de la serie, por tal motivo se aplica un llenado de píxeles vacíos con el siguiente año más próximo que sí cuente con información.

En este filtro, los vacíos son reemplazados por la clasificación temporalmente más cercana. En este procedimiento, si no hay disponibilidad de un valor en el año siguiente, entonces el espacio se reemplaza con el valor del año precedente. 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 9)

Gap Fill

Píxeles en las clasificaciones sin datos ("gaps") son reemplazados por el valor temporalmente más cercano. Cuando un píxel carece de valor (sin datos), el filtro de Gap fill le asigna el valor del año más próximo del pasado, en caso no haber en el pasado del píxel se reemplaza por un valor próximo del año próximo adelante.

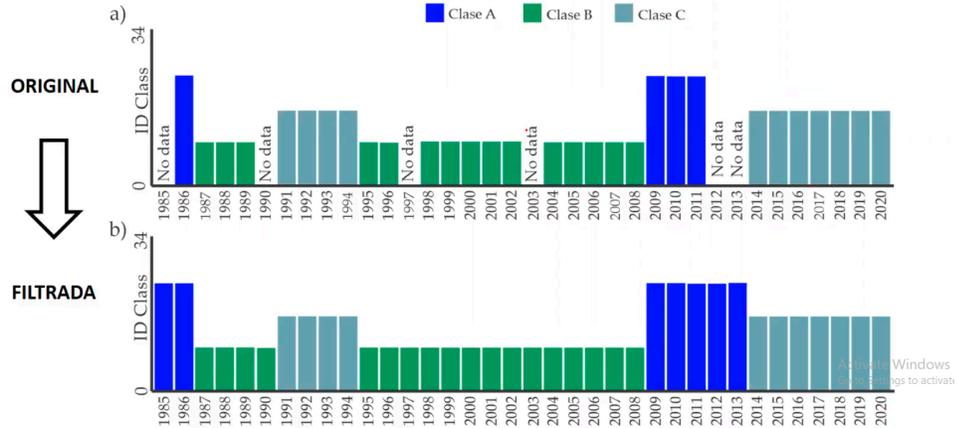


Figura 9. Efecto de la aplicación del filtro de relleno (Gap Fill)

4.2. Filtro Espacial

Con el asset anterior, se aplica un filtro espacial 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.

Considerando que los ríos mantienen una conectividad casi lineal a lo largo de cauce del mismo, la conectividad del río es completamente visual, y se puede utilizar archivos de referencia para lograr ubicar la dirección del mismo, en especial por el tamaño del píxel y lo delgados que pueden ser algunos de los ríos amazónicos que no logran cubrir el ancho de un píxel Landsat. (Figura 10)

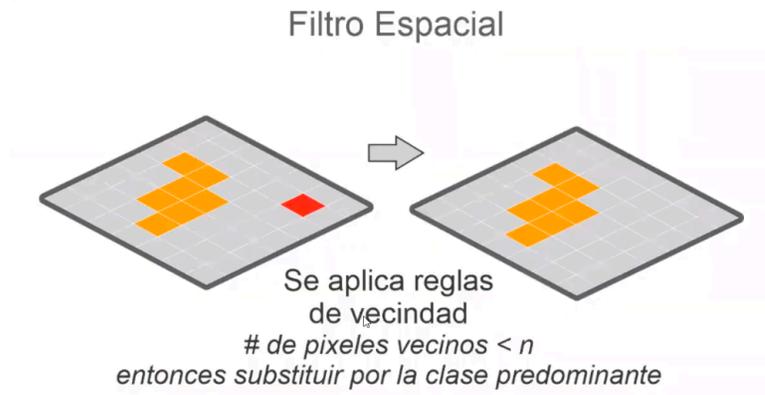
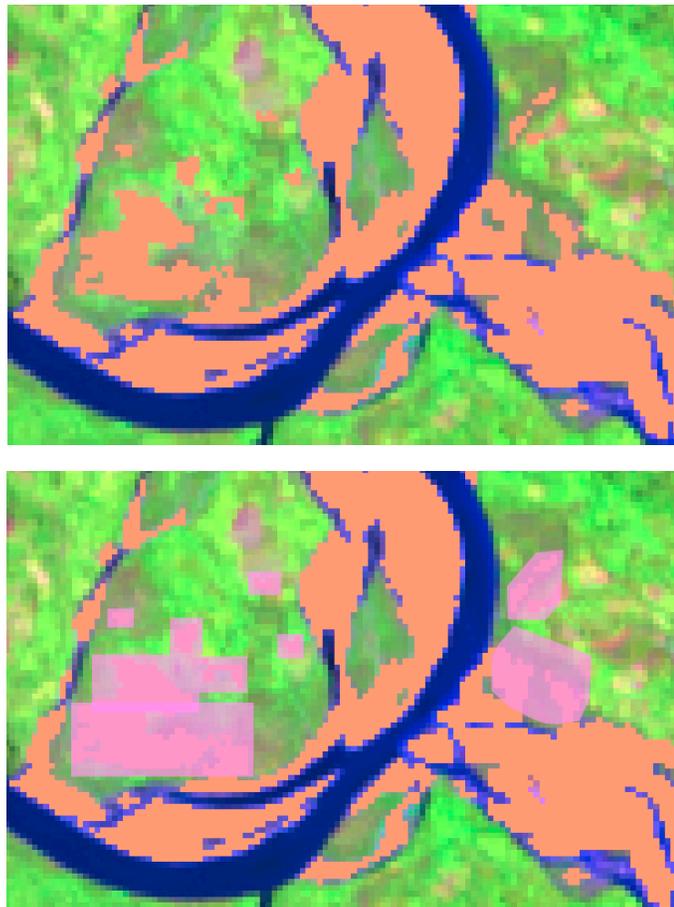


Figura 10. Efecto de la aplicación del filtro espacial

4.3. Remap

Como último paso de la post clasificación se hace una revisión general año por año de los mapas generados posteriormente a la aplicación de los dos filtros anteriores y de manera manual se agregan polígonos para convertir zonas que no corresponde a la clase 23 (agricultura, minería, zonas urbanas, etc) a la clase 27. (Figura 11)



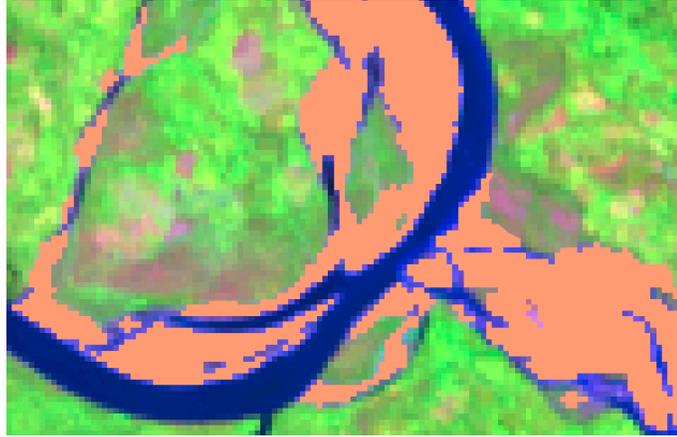


Figura 11. Efecto de la aplicación del remap (Región 70103, Mosaico Landsat 2020)
 Coordenadas geográficas (-73.9197, -11.89134)

5. Validación

En el proceso de clasificación se realizaron comparaciones de manera visual, siguiendo el cauce natural de los ríos así como la presencia de playas, dunas y bancos de arena. Adicionalmente se usaron gráficas para ver la evolución anual del área total de sedimentos y detectar los años con exceso o defecto de píxeles en la clasificación, estos se resaltan como picos en la gráfica (Figura 12). Se puede usar la capa de minería y la capa de agricultura como una máscara para filtrar píxeles de reflectancia similar a la acumulación de sedimentos.

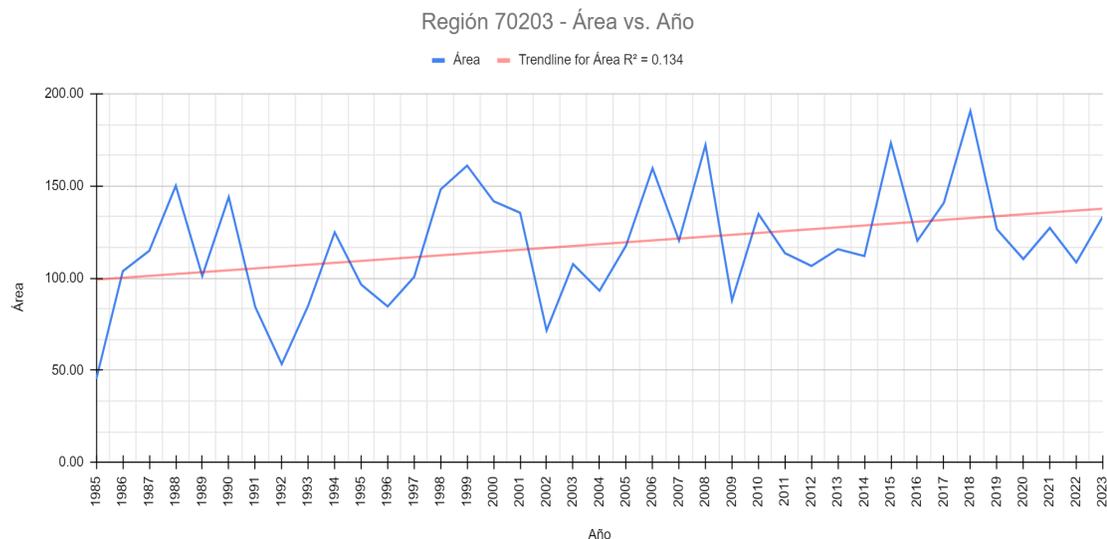


Figura 12. Gráfica de Área vs Año para Playas, Dunas y Bancos de Arena. Se puede evidenciar que hay un mínimo de sedimentos para los años 1985 y 1992.

6. Recomendaciones

- Los periodos de toma de muestras durante la fase de clasificación son variables dependiendo de la dinámica de los ríos. En Amazonía Baja, la naturaleza sinusoidal de los meandros hace que la ubicación de las playas sea muy variable al igual que los píxeles estables. Se recomienda tomar periodos de muestra cortos (1 - 2 años) a fin de garantizar que las muestras corresponden a elementos de la clase 23. En Amazonía Alta, las playas suelen ser más estáticas a lo largo del tiempo lo que posibilita el tomar periodos de recolección de muestras más largas (3 - 5 años). (Figura 13)

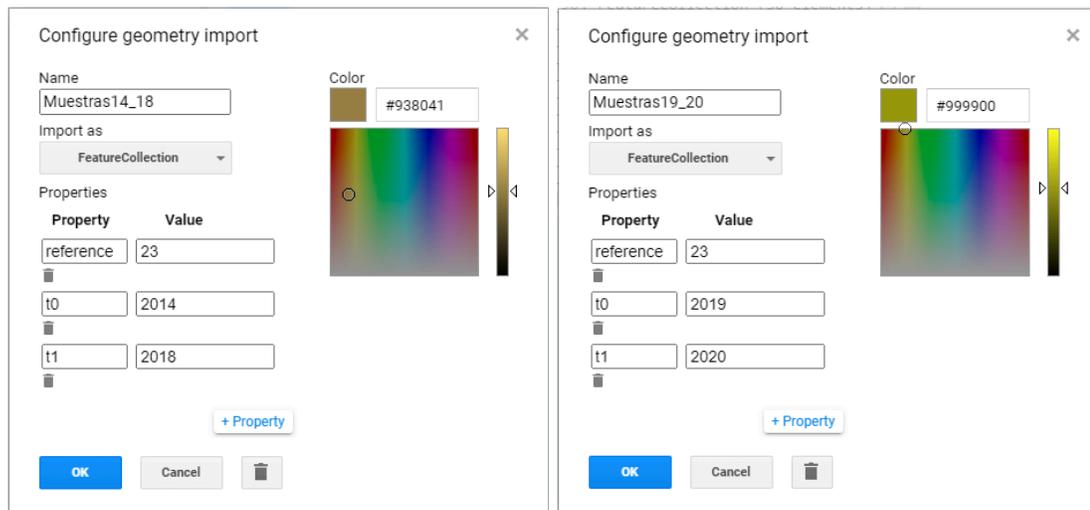


Figura 13. Rangos de clasificación para Amazonía Alta y Amazonía Baja

- La máscara de aguas usada para definir el área de la clasificación toma el acumulado de cuerpos de agua (clase 33) de 1985 a 2023. Esto puede ocasionar errores en la clasificación al tomar zonas de actividad minera o agrícola con reflectancias similares a los sedimentos como parte de la máscara. Estas zonas no deseadas aparecen en años posteriores al 2000 debido a la expansión agrícola y la minería ilegal en la Amazonia. Para futuras clasificaciones se recomienda usar en la medida de lo posible una sola máscara por año para evitar solapamiento con zonas no deseadas. (Figura 14)

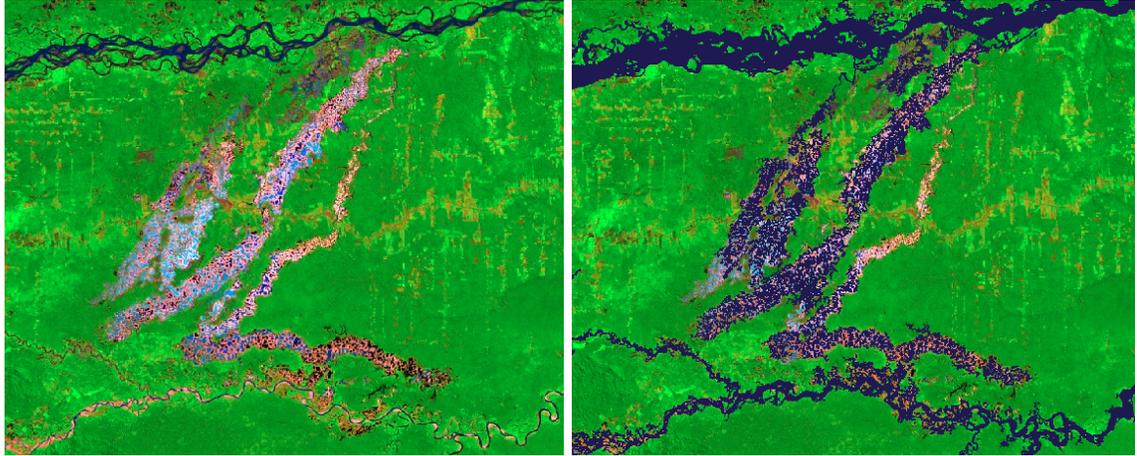


Figura 14. Zona de minería en Madre de Dios, erróneamente incluida en la máscara del acumulado de aguas (Región 70205, Mosaico Landsat 2023)

- La clasificación de playas se hizo a partir de muestras estables de sedimento para periodos de 2 a 5 años. Sin embargo, la dinámica de los ríos causa que estos sedimentos puedan tener diferentes proporciones de material rocoso, estar ligeramente inundados o adquirir una cobertura vegetal si son lo suficientemente grandes. Debido a estas variaciones en la reflectancia de los píxeles estos no siempre serán considerados por el clasificador. Por ende, para futuras clasificaciones se recomienda tomar muestras de las diferentes clases de sedimentos, tal como se muestra en la Figura 15. Tomar este enfoque puede mejorar la visibilidad de la dinámica de playas en ríos, especialmente en Amazonía Baja.





Figura 15. Diferentes tipos de sedimentos. Nótese que al tener poca densidad o crecer vegetación encima, estos pixeles ya no son tomados en cuenta por el clasificador dado que cambia su reflectancia (Región 70203, Mosaico Landsat 2021)
Coordenadas geográficas (-74.4971, -8.76888)

7. Referencias

- MapBiomias. (2019). MapBiomias Amazonia. (Colección 2.0) [Map]. <https://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/map>
- MapBiomias. (2023). MapBiomias Perú - Cobertura y uso del suelo. Manual general. Documento de base teórica sobre algoritmos (ATBD). (Colección 2.0).
- Fundación Gaia Amazonas (2023). Documento de Base Teórica de Algoritmos (ATBD). RAISG - MapBiomias Colombia. Colección 1, Apéndice Colombia - Colección 1 de Mapas Anuales de Cobertura y Uso del Suelo de Colombia.
- MapBiomias. (2023). RAISG - MapBiomias Agua. Apéndice - Agua. Documento de base teórica sobre algoritmos (ATBD). (Colección 1.0).
- MapBiomias. (2023). RAISG - MapBiomias Amazonia. Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD). (Colección 5.0).
- MapBiomias. (2023). RAISG - MapBiomias Amazonia. Apéndice - Cuerpos de Agua. Documento de base teórica sobre algoritmos (ATBD). (Colección 4.0).