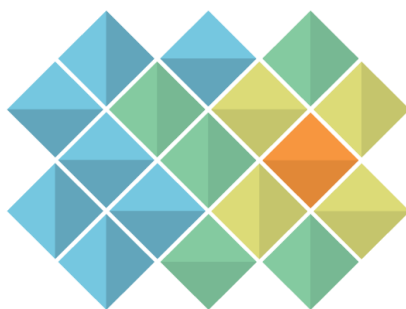




MAPBIOMAS
PERÚ

Apéndice - Lomas Costeras

**Tema transversal
Colección 4.0**

Versión Beta

Equipo responsable

Milagros Miguel
Andrea Bravo
Valeria Llactayo
Massiel Quilca
Lucy Flores

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Marco teórico	2
3. Metodología	3
Área de Estudio	3
Generación de mosaicos anuales	6
Indices espectrales	7
Clasificación	8
Post - Clasificación	9
7. Referencias	13

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación	6
Tabla 2. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 4.0.	7
Tabla 3. Años de la serie histórica sin clasificación por falta de píxeles de mosaico.	9

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Lomas (ID 70) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).	4
Figura 2. Regiones de clasificación.	5
Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0 Mapbiomas Perú.	7
Figura 4. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill.	10
Figura 5. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial.	11
Figura 6. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal.	11
Figura 7. Diagrama de flujo metodológico.	12

1. Introducción

Las lomas costeras son un tipo de cobertura estacional que proveen servicios ecosistémicos, incluyendo la captación de niebla para la provisión de agua, estabilización de suelos, purificación del aire y hábitat para flora y fauna, incluidos polinizadores. Constituyen un reservorio genético y ofrecen potencial para el turismo sostenible. No obstante, estos ecosistemas enfrentan presiones significativas. Las amenazas principales son, el sobrepastoreo trashumante, la desertificación, los efectos del cambio climático y la expansión de la frontera agrícola y urbana. Estas presiones conllevan deterioro ambiental, pérdida de biodiversidad y reducción de la capacidad de las lomas para proveer servicios ecosistémicos.

El presente documento tiene como objetivo describir la metodología aplicada para el mapeo de lomas costeras, en el marco de la Colección 4.0. de MapBiomias Perú sobre Cobertura y Uso del Suelo. Esta iniciativa busca aportar información multitemporal sobre esta cobertura, resaltando su diversidad y la importancia de su correcta identificación y clasificación.

Esta metodología es una adaptación a la metodología propuesta por REMAP como una metodología piloto y se sugiere tomar los resultados como una versión 'beta' la cual tendrá mejoras con las próximas colecciones de MapBiomias Perú

2. Marco teórico

Las lomas costeras del Perú son ecosistemas estacionales con vegetación que se desarrolla en invierno y primavera, en contraste con el desierto circundante. Su formación depende de la condensación de neblanas advectivas del Océano Pacífico. El aire húmedo, transportado por vientos alisios, es enfriado por la Corriente de Humboldt. La inversión térmica restringe el ascenso de estas masas de aire húmedo a 1,000-1,200 msnm, concentrando la humedad en capas bajas. Al ascender por las estribaciones andinas, el aire húmedo se condensa y precipita como llovizna o garúa, irrigando el suelo y permitiendo el desarrollo vegetal. La Corriente de Humboldt, la inversión térmica y la condensación de la niebla son factores esenciales para la existencia de vida en este entorno árido. Las características geográficas de las colinas costeras interactúan con estos fenómenos atmosféricos, generando un microclima propicio para la vegetación (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2015). Guía de Flora de las Lomas de Lima.).

Estas formaciones se distribuyen linealmente a lo largo de la costa peruana, desde Trujillo hasta Tacna. Su rango altitudinal varía desde el nivel del mar hasta los 1,000-1,200 msnm, límite de la influencia de las neblinas debido a la inversión térmica. Las lomas presentan estacionalidad climática: una estación seca (diciembre-abril) con vegetación marchita, y una estación húmeda (mayo-octubre) con abundancia de nieblas que favorece el desarrollo floral.

La biodiversidad de las lomas costeras refleja la adaptación a condiciones ambientales estacionales. Estos ecosistemas presentan una riqueza biológica que contrasta con la aridez circundante, caracterizada por un alto grado de endemismo.

La flora de las lomas comprende 537 especies de plantas, de las cuales 225 son endémicas. La vegetación incluye algas, líquenes, musgos, helechos y plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas. Especies como la flor de Amancaes (*Ismene amancaes*) y malváceas del género *Palaua* spp. son representativas, siendo estas últimas vulnerables a la expansión urbana (Maquera, 2013).

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El ámbito de estudio comprende todo el territorio peruano y considera spñp el bioma Desierto Costero. La clasificación de la clase de Lomas costeras se realizó para toda la serie temporal de la colección actual a lo largo del litoral peruano, permitiendo identificar su distribución espacial y evolución a escala nacional. Como referencia espacial del área de estudio, la Figura 1 presenta el mapa de acumulado de la clasificación de Lomas costeras para el conjunto de años analizados, donde se representa la totalidad de píxeles identificados como pertenecientes a esta clase al menos en uno de los años de la serie temporal. Esta representación permite visualizar la extensión y distribución de las áreas de infraestructura urbana identificadas a nivel nacional y proporciona un contexto espacial para el análisis desarrollado posteriormente.



Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Lomas (ID 70) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

Para la clasificación, se definieron cuatro (4) regiones de clasificación basadas en referencias proporcionadas por Moat et al (2017) y Minam (2023). A su vez, abarcan desde -06°LS por el norte hasta -18°LS por el sur

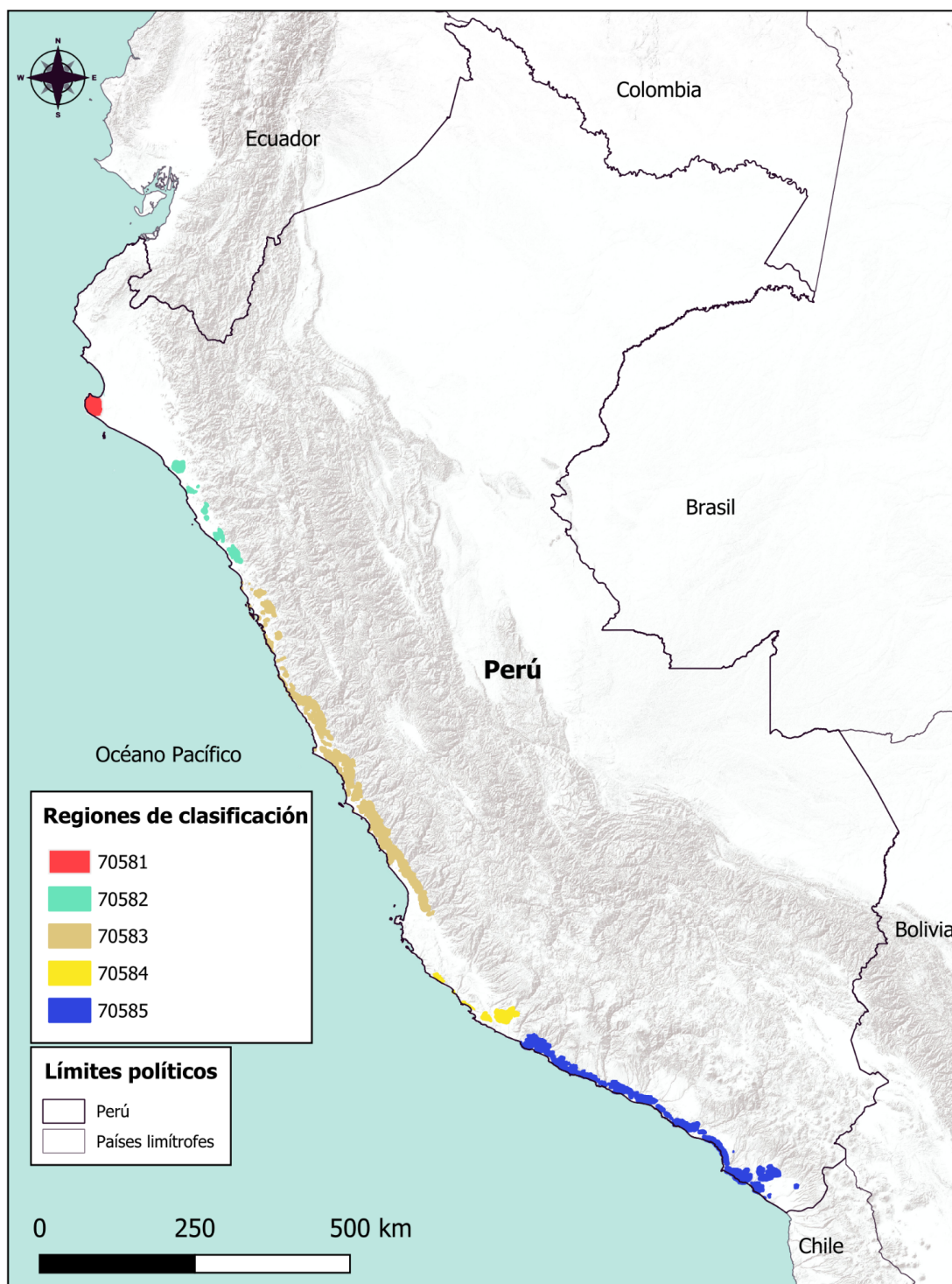


Figura 2. Regiones de clasificación.

Tabla 1. Regiones de clasificación.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 705	Costa Norte	70581
		70582
		70505
		70506
	Costa Centro	70583
	Costa Sur	70584
		70585

Fuente: Elaboración propia

3.2. Generación de mosaicos anuales

Se accedió a colecciones de imágenes de Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM +) y Landsat 8/9 (OLI/TIRS) que cubren el período desde 1985 hasta 2025 para cada región de clasificación de las lomas costeras. Para asegurar la calidad de los datos, las imágenes fueron sometidas a un pre-procesamiento que incluye la estandarización de nombres de bandas y un enmascaramiento de nubes y sombras en el cual se aplicaron algoritmos de enmascaramiento basados en la banda QA (Quality Assessment) para eliminar píxeles afectados por nubes, sombras de nubes, nieve y cuerpos de agua

Posteriormente, se generaron mosaicos anuales para cada año del periodo de estudio. Estos mosaicos se crearon considerando dos periodos estacionales críticos para las lomas costeras peruanas:

- **Periodo Seco (P1):** Diciembre del año anterior a mayo del año en curso.
- **Periodo Húmedo (P2):** Junio a octubre del año en curso.

Para mejorar la información espectral y temporal de los mosaicos de cada periodo, se utilizó la función `qualityMosaic` basada en el índice EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2), lo que significa que el píxel seleccionado en cada ubicación del mosaico es aquel con el valor más alto de EVI2, indicando las condiciones de vegetación más saludables o densas. Además de este mosaico de calidad, se calcularon estadísticas temporales (mediana, media, máximo, mínimo, desviación estándar y percentil 80) para cada banda espectral original en ambos periodos. Finalmente, las bandas de los mosaicos de ambos periodos se combinaron en un único mosaico anual para el proceso de clasificación.

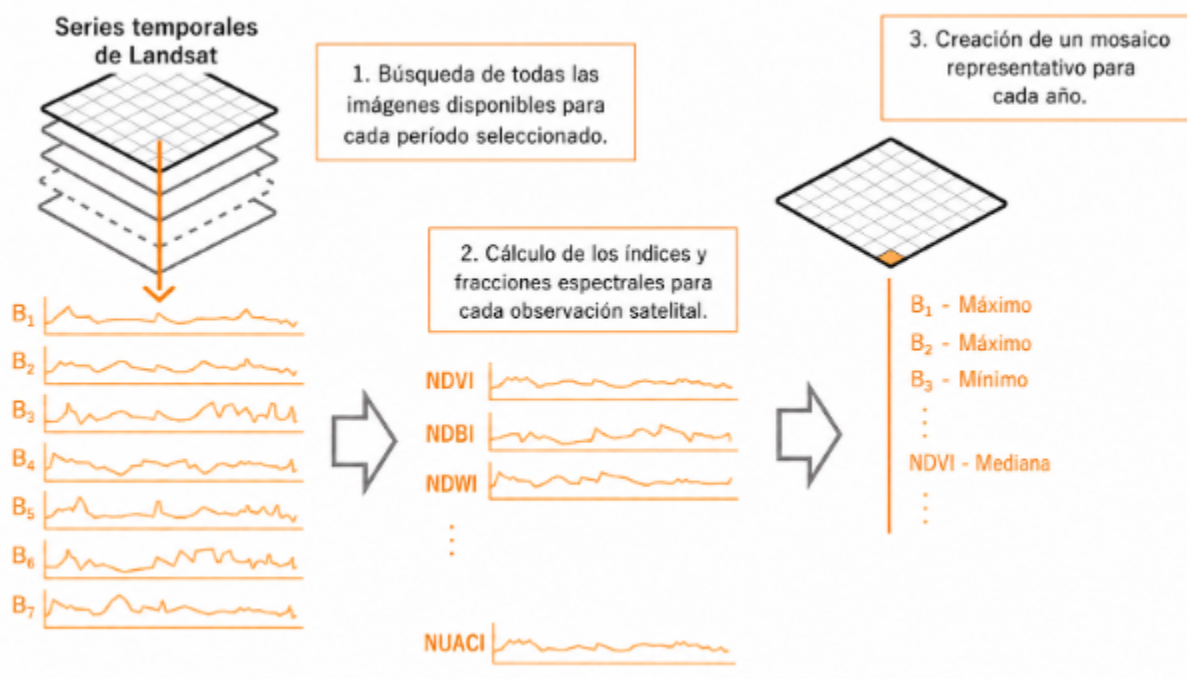


Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0. Mapbiomas Perú.

3.3. Índices espectrales

Además de las bandas espectrales originales, se calculó un conjunto de índices espectrales para cada imagen Landsat dentro de las colecciones anuales. Los índices se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Índices espectrales

Índice	Expresión (Bandas de Landsat)
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$
NDWI (Normalized Difference Water Index)	$(\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1})$
MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	$(\text{GREEN} - \text{SWIR1}) / (\text{GREEN} + \text{SWIR1})$
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$1.5 * (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 0.5)$
PRI (Photochemical Reflectance Index)	$(\text{BLUE} - \text{GREEN}) / (\text{BLUE} + \text{GREEN})$
CAI (Cellulose Absorption Index)	$\text{SWIR2} / \text{SWIR1}$
EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 6 * \text{RED} - 7.5 * \text{BLUE} + 1))$

EVI2 (Two-band Enhanced Vegetation Index)	$2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 2.4 * \text{RED} + 1))$
HALLCOVER	$(-\text{RED} * 0.017 - \text{NIR} * 0.007 - \text{SWIR2} * 0.079 + 5.22)$
GCVI (Green Chlorophyll Vegetation Index)	$(\text{NIR} / \text{GREEN} - 1)$
LAI (Leaf Area Index)	$(0.3977 * \exp(2.5556 * (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})))$

Fuente: Elaboración propia

3.4. Clasificación

La etapa de clasificación se llevó a cabo anualmente, utilizando el modelo de clasificación supervisada Random Forest sobre los mosaicos e índices espectrales generados.

3.4.1. Preparación de Datos de Entrenamiento

Para entrenar el clasificador, se utilizó el mapa de referencia de lomas costeras del MINAM (2023). Este mapa sirvió como base para identificar dos clases principales de interés: "Lomas Costeras" (valor 1) y "No Lomas Costeras" (valor 0). A partir de este mapa, se recolectaron muestras de entrenamiento estratificadas para cada año. El muestreo estratificado se utilizó para asegurar que el número de puntos de entrenamiento para cada clase (lomas costeras y no lomas costeras) sea proporcional a su área de cobertura dentro de la región de interés y evitar sesgos.

3.4.2. Algoritmo de clasificación

El modelo de clasificación empleado fue un Random Forest (Bosque Aleatorio), configurado con 60 árboles.

El clasificador fue entrenado con las muestras estratificadas de lomas y no lomas y utilizando todas las bandas de los mosaicos anuales (bandas espectrales e índices calculados para los periodos húmedo y seco) como variables predictoras.

3.4.3. Generación del mapa de probabilidad y clasificación final

Una vez entrenado, el clasificador se aplicó a cada mosaico anual para generar un mapa de probabilidad. Se aplicó un umbral de confianza del 40% donde los píxeles con una probabilidad de ser "Lomas Costeras" igual o superior al 40% fueron clasificados como tales.

3.4.4. Años sin clasificación

Debido a la alta nubosidad característica de las regiones de lomas costeras, la clasificación no fue posible en algunos años (tabla x) debido a la falta de píxeles limpios. Para ello, se generaron bandas de "clasificación" con un valor constante de cero, asegurando que la serie temporal sea completa y que cada año tenga una banda asignada, incluso si no hubo una clasificación activa en ese periodo. Finalmente, todas las bandas, fueron agrupadas en una imagen multibanda

Tabla 3. Años de la serie histórica sin clasificación por falta de píxeles de mosaico.

Región	Años faltantes
70582	2009, 2010
70583	-
70584	1985, 1986, 1987
70585	1987

Fuente: Elaboración propia

3.5. Post-Clasificación

3.5.1. Llenado de Vacíos de información - Filtro Gap Fill

En las zonas de lomas costeras del territorio peruano, las condiciones atmosféricas y climáticas asociadas a la presencia recurrente de nubosidad y niebla pueden limitar la disponibilidad de observaciones satelitales durante determinados periodos del año. Como consecuencia, los mosaicos anuales pueden presentar píxeles sin observaciones o sin datos (*No data*), generando vacíos temporales en las series de clasificación. En este caso, la clasificación de lomas se realizó mediante un esquema binario, en el que el valor **1 corresponde a áreas de lomas y el valor 0 a áreas sin lomas**.

El filtro de relleno de vacíos temporales o GapFill permite reducir estos vacíos residuales mediante la asignación de valores a píxeles sin datos, utilizando información disponible en años temporalmente cercanos. De esta manera, cuando un píxel presenta un vacío en un determinado año, el filtro busca en la serie temporal el valor válido más próximo para completar dicha ausencia, asignando uno de los dos valores correspondientes a la clasificación binaria: 0 o 1.

El procedimiento realiza una revisión de la serie temporal para identificar y completar los píxeles sin datos. Primero, se efectúa un barrido de “atrás hacia adelante”, mediante el cual los vacíos son rellenados utilizando información válida de los años precedentes más próximos. En caso de persistir vacíos, estos son posteriormente completados utilizando información disponible de los años siguientes más cercanos. De este modo, el filtro permite mejorar la continuidad temporal de la clasificación binaria de lomas en áreas donde la disponibilidad de observaciones

puede verse limitada por las condiciones atmosféricas características de estos ecosistemas.

Para cada píxel cuyo valor es completado mediante este procedimiento, se conserva la información correspondiente al año de origen del valor utilizado para el relleno, permitiendo identificar la procedencia temporal del dato y mantener la trazabilidad de las modificaciones realizadas durante la post-clasificación (Ver Figura 4).

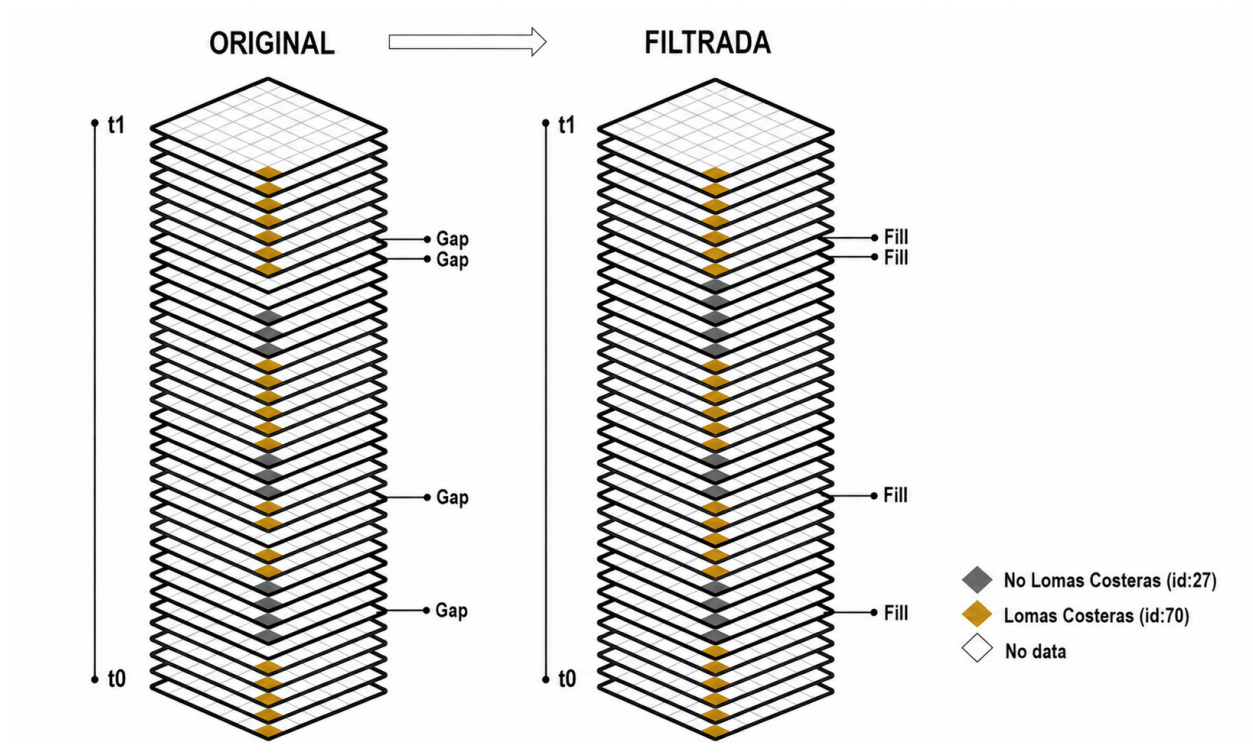


Figura 4. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill, en donde t_0 representa el primer año y t_1 el último año.

3.5.2. Filtro Espacial

El filtro espacial está basado en la función "connectedPixelCount" de Google Earth Engine, que identifica al conjunto de píxeles vecinos que comparten un mismo valor. Utilizando esta función y considerando una cantidad mínima preestablecida de píxeles idénticos, aquellos que no presentan conexión (valores diferentes) se consideran píxeles aislados y fueron reclasificados (figura 6). Para ambas clases (ID: 27, ID: 70), la conexión mínima establecida fue de 6 píxeles (aprox. 0.6 ha) (Ver Figura 5).

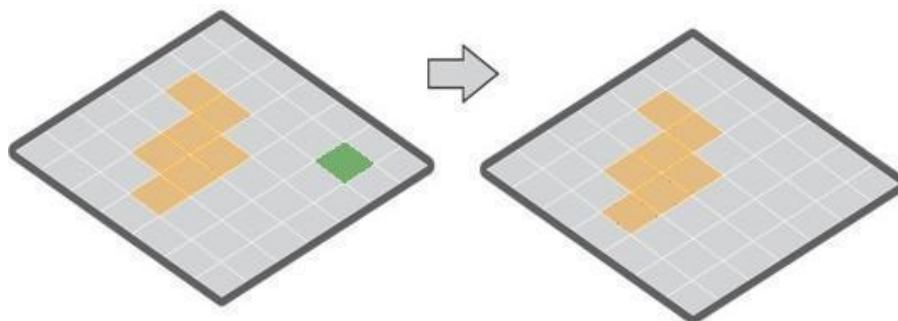


Figura 5. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial.

3.5.3. Filtro Temporal

Los filtros temporales utilizaron ventanas móviles y umbrales (7, 5 o 3 años) para corregir cambios momentáneos y suavizar la serie temporal (Ver Figura 6).

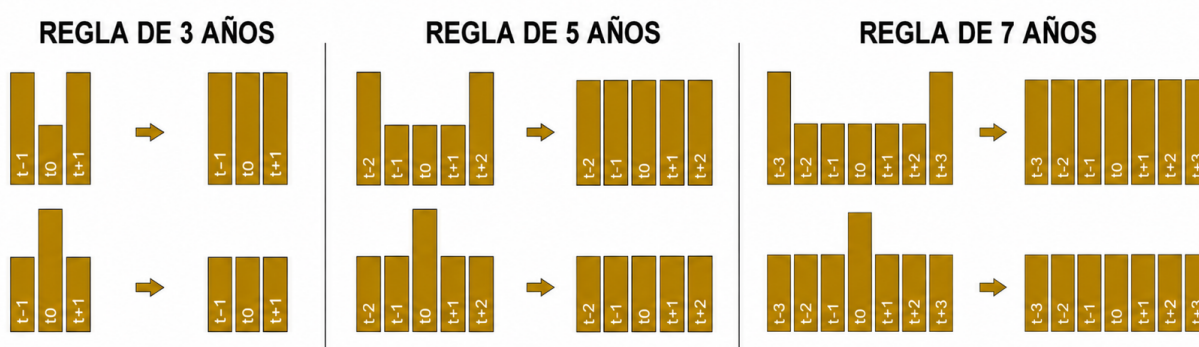


Figura 6. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal.

3.5.4. Filtro de Persistencia

Posteriormente al filtro temporal, se implementó un filtro de persistencia con una ventana de 2 o 3 años, según las características del periodo analizado. Para las clasificaciones correspondientes a los años más recientes, a partir de 2018, se aplicó una ventana de persistencia de 5 años. Este procedimiento permitió reforzar la continuidad temporal de las clases y reducir cambios aislados o inconsistentes en la serie de clasificación.

Para saber más detalle de esta metodología puede consultar el documento metodológico de Weber et al., (2025)

De manera complementaria, se emplearon herramientas y procedimientos adicionales de post-clasificación, entre ellos procesos de unión (join) con la colección anterior (Colección 3.0), con el propósito de aprovechar y conservar información previamente validada y con buen desempeño en la clasificación. Asimismo, se aplicaron ajustes específicos de carácter temporal y espacial en función de las características y necesidades identificadas en cada región o periodo analizado. Estas

herramientas permitieron resolver inconsistencias puntuales, preservar patrones de clasificación consolidados y mejorar la continuidad y coherencia de las trayectorias de cambio a lo largo de la serie temporal. En este sentido, la secuencia de post-clasificación no se estableció como un procedimiento rígido y uniforme para todo el territorio, sino como un conjunto de herramientas aplicadas de manera contextual, cuya selección y configuración dependen de las condiciones espaciales y temporales de cada área, contribuyendo a optimizar la consistencia final de la clasificación.

3.6. Integración

Al obtener la clasificación de las lomas costeras se realizó la integración de todas las regiones de clasificación para así obtener una mapa nacional de lomas costeras.

3.7. Resumen metodológico

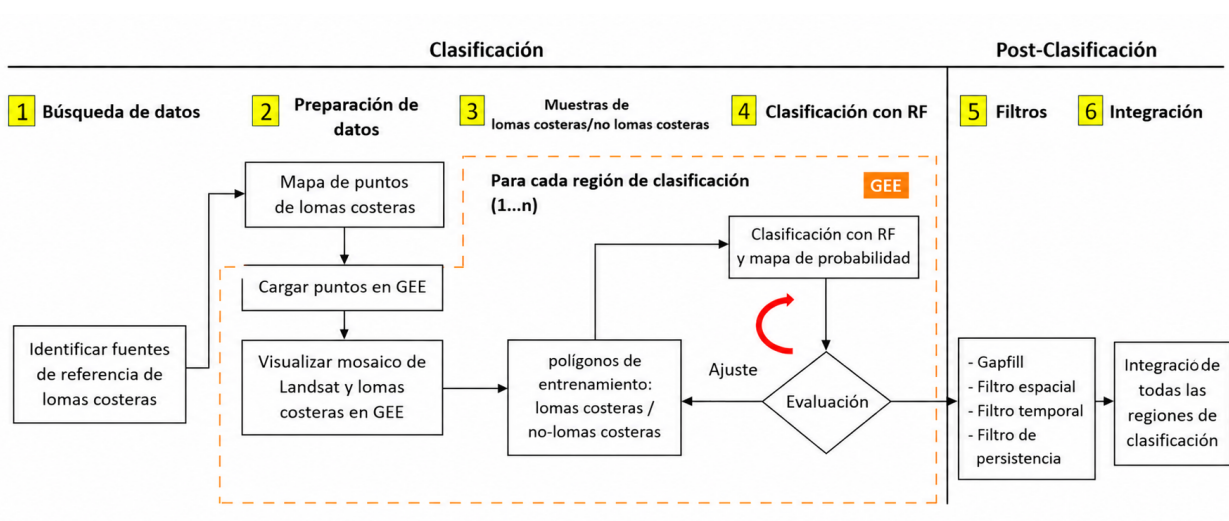


Figura 7. Diagrama de flujo metodológico.

4. Referencias

- Claros Maquera, D. (2013). Gestión del Agua y Biodiversidad en la Reserva Nacional de Lachay Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP).
- Geoportal de las lomas de Lima. (s.f.). geolomera.maps.arcgis.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2024, de <https://geolomera.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=485e6988822b486e8a35bbf5d2df33f4>
- Gonzales.F. , Craven.D. & Armesto.J. (2023). Islands in the mist: A systematic review of the coastal lomas of South America. Journal of Arid Environments. Volume 211. 104942. ISSN 0140-1963. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104942>.
- Moat. J., Orellana. A., Tovar. C., Arakaki. M., Arana.C., Cano.A., Faundez.L., Gardner.M., Hechenleitner.P., Hepp.J., Lewis.G., Mamani.J., Miyasiro.M., Whaley.O. (2021). Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile,) International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Volume 103. ISSN 1569-8432. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468>.
- Ministerio del Ambiente. (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Recuperado el 24 de septiembre de 2024, de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial y Gestión Integrada de los Recursos Naturales, & Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio. (2023). *Memoria descriptiva: Actualización del ecosistema de Lomas Costeras del Mapa Nacional de Ecosistemas 2023*.
- Weber, E., Santos, K. S. M., & Teixeira Junior, P. D. P. (2025). *MapBiomass General "Handbook" - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 9 - Agriculture and Forest Plantation - Appendix (V1)*. MapBiomass Data. <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/H8H8MX>