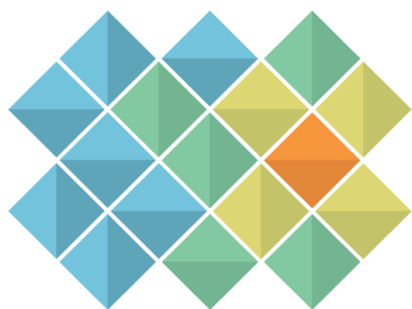




MAPBIOMAS

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	3
2. Marco teórico	3
3. Metodología	4
3.1. Área de estudio	4
3.2. Generación de mosaicos anuales	7
3.3. Variables de clasificación o feature space	8
3.4. Clasificación	9
3.4.1. Muestras de entrenamiento	9
3.4.2. Algoritmo de clasificación	10
3.4.3. Generación del mapa de probabilidad y clasificación final	10
3.5. Posclasificación	10
3.5.1. Llenado de vacíos de información	10
3.5.2. Filtro espacial	11
3.5.3. Filtro temporal	11
3.6. Integración	12
3.7. Resumen metodológico	13

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación	7
Tabla 2. Variables de clasificación o feature space	8
Tabla 3. Años de la serie histórica sin clasificación por falta de píxeles de mosaico.	11

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).	5
Figura 2. Regiones de clasificación.	6
Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0 Mapbiomas Perú.	8
Figura 4. Visualización de lomas costeras en imagen satelital, composiciones Landsat RGB 654 y RGB 543, y clasificación final	10
Figura 5. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial.	11
Figura 6. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal.	12
Figura 7. Diagrama de flujo metodológico.	13

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 principales amenazas 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 nieblas 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 (Lleellish et al., 2015).

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 (noviembre-abril) con vegetación marchita, y una estación húmeda (junio-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 el bioma Desierto Costero a lo largo del litoral peruano y el bioma Andes en las zonas contiguas al Desierto Costero, donde se desarrolla la cobertura de Lomas Costeras. 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 identificadas a nivel nacional y proporciona un contexto espacial para el análisis desarrollado posteriormente.

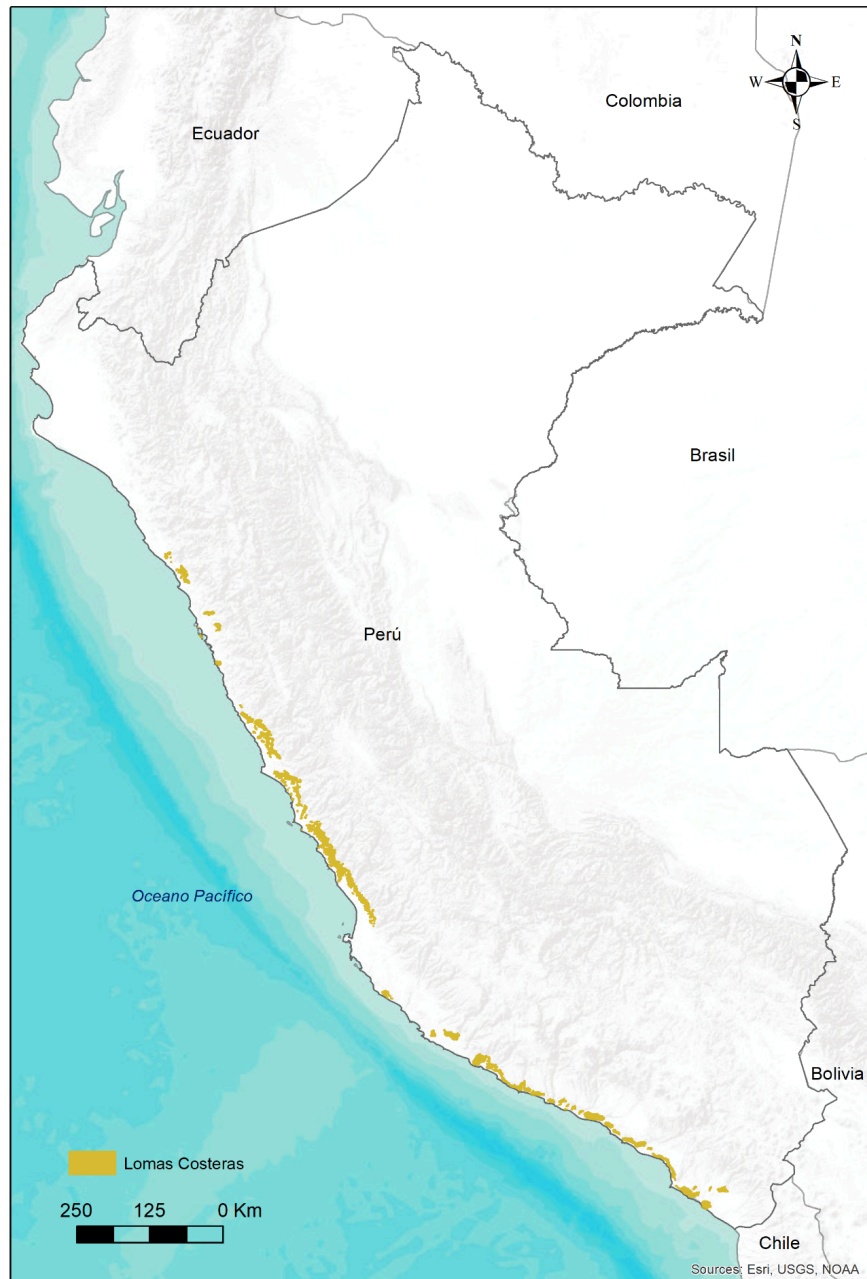


Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Lomas (ID 70) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

Para la clasificación, se definieron cinco (5) regiones de clasificación, estas están basadas en los mapas de referencias mencionados a continuación:

- Mapa de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019),
- Mapa de regiones de Lomas (Moat et al, 2021),

- Shapefile de Lomas (Geoportal de las lomas de Lima, s.f.),
- Memoria descriptiva: Actualización del ecosistema de Lomas Costeras del Mapa Nacional de Ecosistemas 2023. (MINAM, 2023).

Estas regiones de clasificación se realizaron mediante digitalización gracias a una combinación de áreas preexistentes, las cuales fueron ajustadas mediante la validación con imágenes satelitales Landsat y los mapas base Google Satellite y Bin.

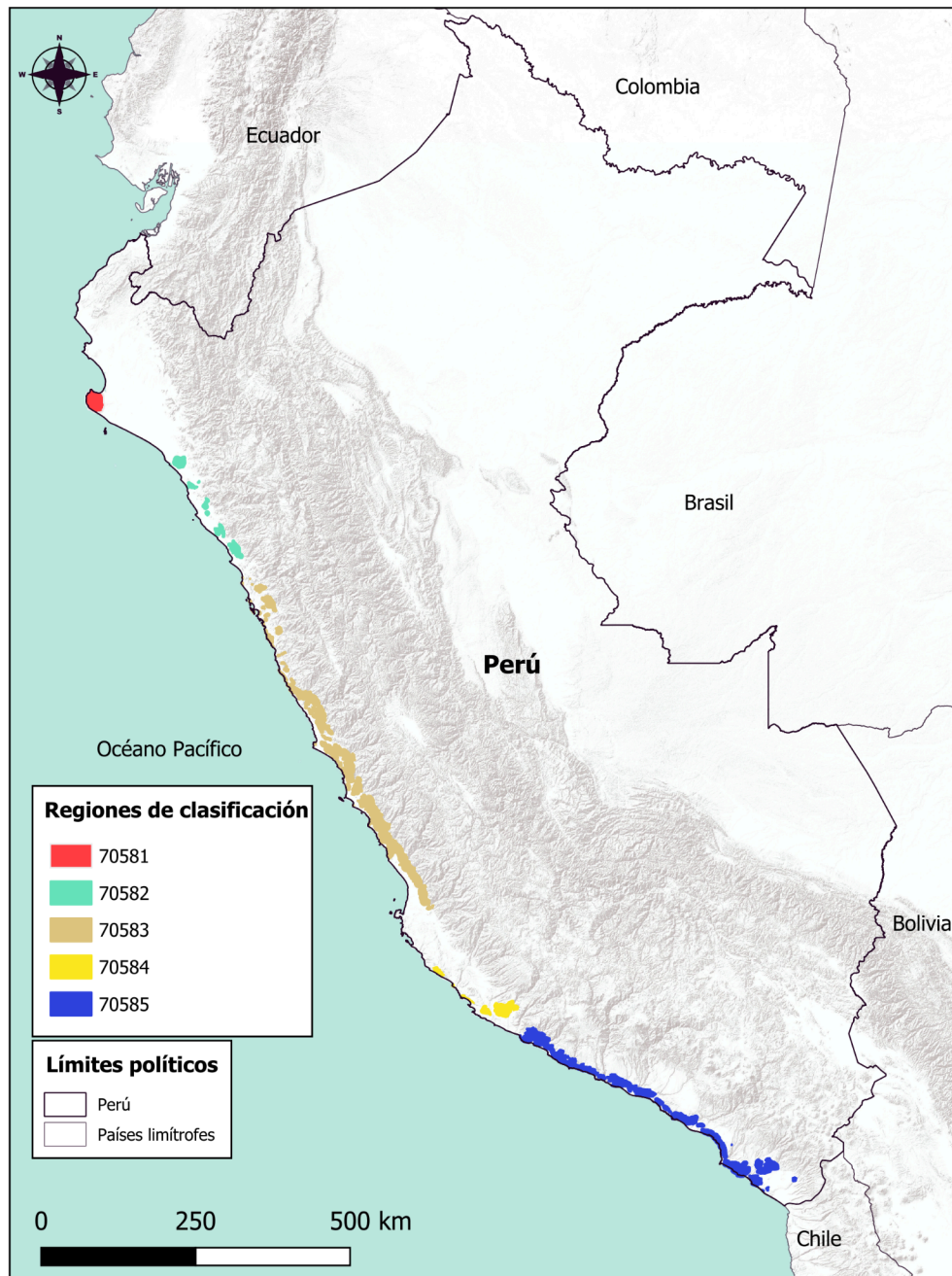


Figura 2. Regiones de clasificación.

Tabla 1. Regiones de clasificación.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 705	Costa Norte	70581
		70582
	Costa Centro	70583
		70584
	Costa Sur	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):** Noviembre 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, a partir de las imágenes seleccionadas se calcularon los reductores estadísticos utilizados para construir las variables de clasificación, principalmente la mediana y la mediana correspondiente al periodo seco, según la variable considerada (Tabla 2).

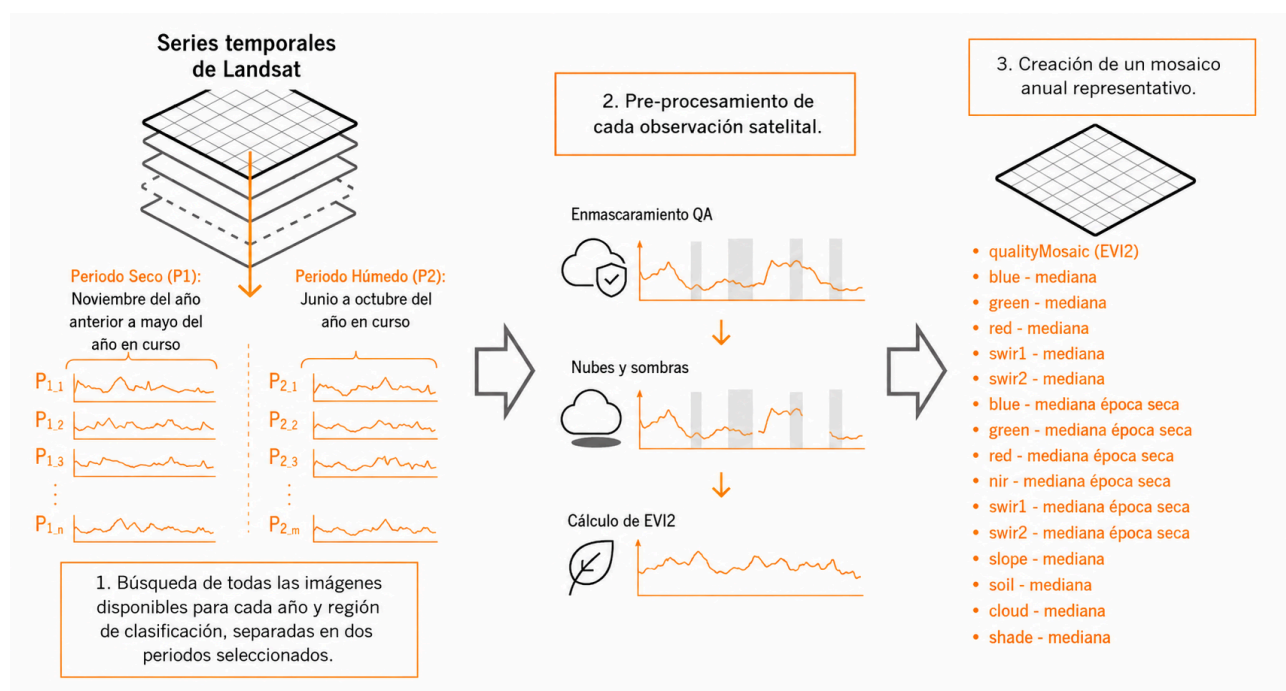


Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0. Mapbiomas Perú.

3.3. Variables de clasificación o feature space

Además de las bandas espectrales originales, a partir de las imágenes Landsat se generó un conjunto de variables espectrales, fracciones y variables auxiliares que conforman el espacio de características (*feature space*) utilizado en la clasificación. Las variables y los reductores aplicados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de clasificación o feature space.

Variable	Descripción	Reductor
blue	Banda azul de Landsat	mediana
green	Banda green de Landsat	mediana
red	Banda rojo de Landsat	mediana
swir1	Banda Infrarrojo de onda corta 1 de Landsat	mediana
swir2	Banda Infrarrojo de onda corta 2 de Landsat	mediana
blue	Banda azul de Landsat	Mediana época seca
green	Banda verde de Landsat	Mediana época seca
red	Banda rojo de Landsat	Mediana época seca

nir	Banda Infrarroja cercana de Landsat	Mediana época seca
swir1	Banda Infrarrojo de onda corta 1 de Landsat	Mediana época seca
swir2	Banda Infrarrojo de onda corta 2 de Landsat	Mediana época seca
slope	fracción de pendiente	mediana
soil	Fracción de suelo	mediana
cloud	Fracción de nubes	mediana
shade	Fracción de sombra	mediana

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 y variables de clasificación generadas

3.4.1. Muestras de entrenamiento

A partir de los mapas de referencia se recolectaron muestras de entrenamiento estratificadas para cada año de la serie hasta 2023, además de muestras estables a lo largo de la serie temporal. Para las clasificaciones de 2024 y 2025 se utilizó el mismo conjunto de muestras correspondiente a 2023. El muestreo estratificado permite 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 cada región de clasificación, reduciendo posibles sesgos asociados al desbalance entre clases.

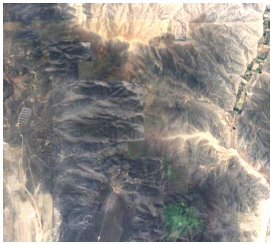
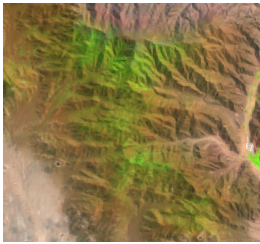
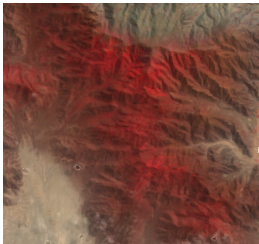
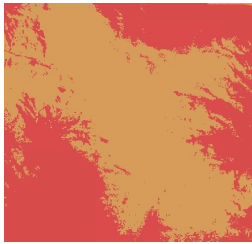
Mapa Base - Satelital	Landsat (RGB 654)	Landsat (RGB 543)	Clasificación
			

Figura 4. Visualización de lomas costeras en imagen satelital, composiciones Landsat RGB 654 y RGB 543, y clasificación final.

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 variables calculadas 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% definido a partir de pruebas iterativas y evaluación visual de los resultados por región, donde los píxeles con una probabilidad de ser "Lomas Costeras" igual o superior al 40% fueron clasificados como tales.

3.5. Posclasificación

3.5.1. Llenado de vacíos de información

Debido a la alta nubosidad y presencia recurrente de niebla en las zonas de lomas costeras, en determinados años no fue posible generar una clasificación para algunas regiones (ver Tabla 3) debido a la ausencia de píxeles válidos en los mosaicos. Para mantener una serie temporal continua y con una banda correspondiente a cada año del periodo de análisis, se incorporaron las bandas faltantes mediante un procedimiento de completado de la serie temporal.

Para los años sin clasificación, se generó una banda con valor constante igual a 0 dentro de la región correspondiente. En el esquema binario empleado para la clasificación de lomas costeras, el valor 1 representa la presencia de Lomas Costeras y el valor 0 representa la clase No Lomas Costeras. Posteriormente, estas bandas fueron incorporadas a la imagen multibanda y ordenadas cronológicamente junto con las clasificaciones disponibles para los demás años.

Este procedimiento no corresponde a una interpolación temporal entre años consecutivos, sino a la incorporación de una banda de clasificación para aquellos años en los que no fue posible generar un resultado debido a la falta de observaciones satelitales válidas.

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

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

Fuente: Elaboración propia

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. Durante la clasificación binaria se utilizaron los valores 0 y 1 para representar No Lomas y Lomas, respectivamente. Para su procesamiento como tema transversal, estos valores se homologaron a los ID 27 y 70 de la estructura de clases utilizada por MapBiomás para la integración. Por otro lado, la conexión mínima establecida fue de 6 píxeles (aprox. 0.6 ha) (Ver Figura 5).

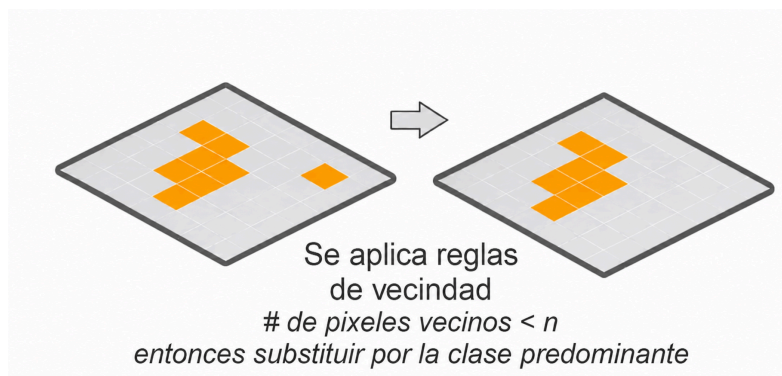


Figura 5. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial.

3.5.3. Filtro temporal

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

Aplicadas a píxeles de años en posiciones intermedias de secuencias de 3, 5 y 7 años. Esta regla se aplica únicamente en casos donde hay una inconsistencia temporal; por ejemplo, cuando secuencias de años consecutivos tienen valores idénticos a excepción del píxel en posición central. En estos casos, el filtro modificará el valor del píxel central para que guarde consistencia con los píxeles que le anteceden y suceden. En el caso de secuencias de 3 años, solo existe una

opción de posición central o año intermedio. En el caso de secuencias de 5 o 7 años, existen dos o tres alternativas de posiciones centrales. Esta regla modifica los valores de las clasificaciones de los años 1986 al 2024.

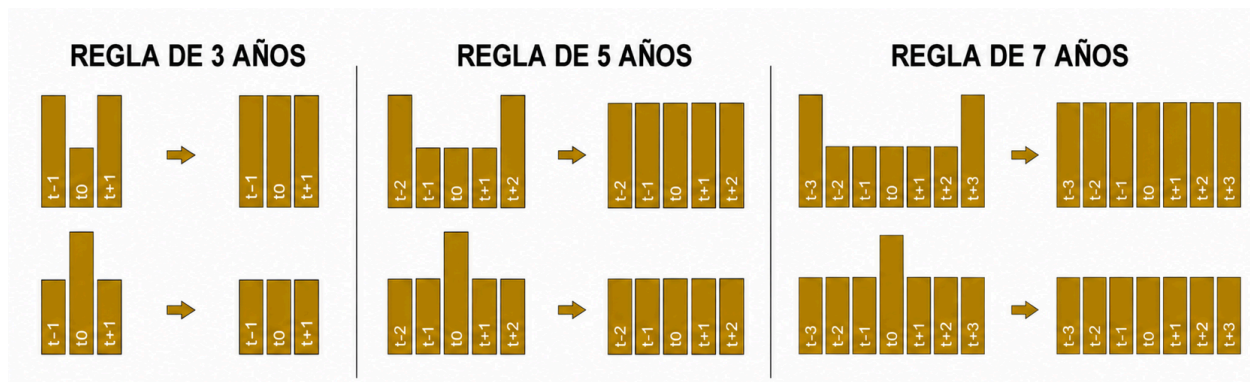


Figura 6. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal.

De manera complementaria, se emplearon herramientas y procedimientos adicionales de posclasificación, entre ellos procesos de unión (join) con la colección anterior (Colección 3.0) en el caso de Lomas para todas las regiones de clasificación, 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, a partir de procesos de revisión y ajuste sustentados en un control de calidad visual. 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 posclasificación 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 un mapa nacional de lomas costeras.

3.7. Resumen metodológico

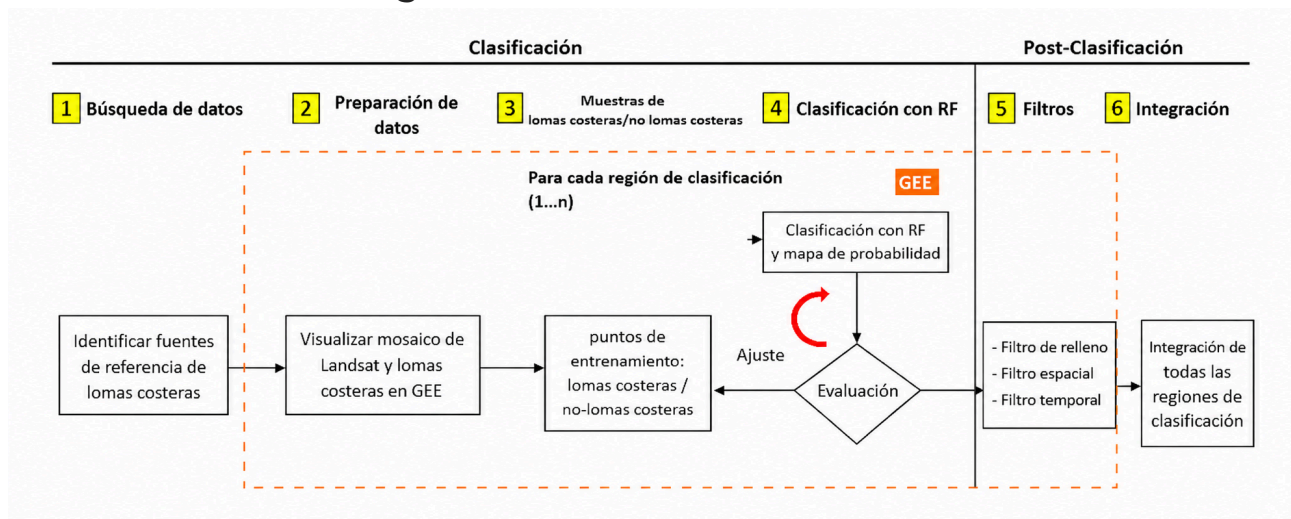


Figura 7. Diagrama de flujo metodológico.

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>.

Lleellish, M., Odar, J., & Trinidad, H. (2015). *Guía de flora de las lomas de Lima*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

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 (VI)*. MapBiomass Data. <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/H8H8MX>