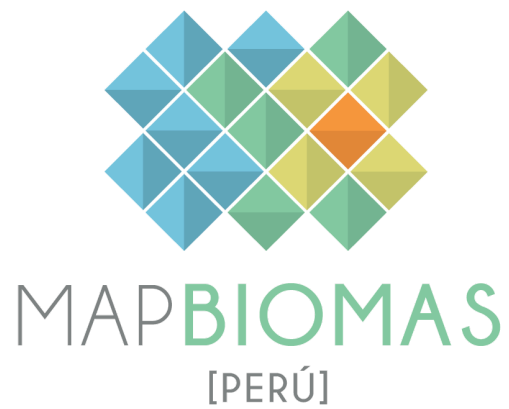




Apéndice - Otra área antrópica sin vegetación

Tema transversal

Colección 4.0

Equipo responsable

Lucy Flores
Andrea Bravo
Zuley Cáceres

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Marco teórico	3
3. Metodología	4
3.1. Área de estudio	4
3.2. Generación de mosaicos anuales	6
3.3. Variables de clasificación o feature space	7
3.4. Clasificación	9
3.4.1. Fuentes de referencia	9
3.4.2. Muestras de entrenamiento	11
3.4.3. Algoritmos de clasificación	12
3.5. Post-clasificación	13
3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill	13
3.5.2. Filtro Temporal	14
3.5.3. Filtro de frecuencia	15
3.5.4. Filtro espacial	15
3.6. Integración	16
3.7. Resumen metodológico	16
4. Referencias	17

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación	6
Tabla 2. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 4.0.	6
Tabla 3. Variables de clasificación o feature space	8
Tabla 4. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Otra área antrópica sin vegetación Colección 4.0.	8

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Otra área antrópica sin vegetación	4
Figura 2. Regiones de clasificación.	5
Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0 Mapbiomas Perú.	7
Figura 4. Visualización en campo de punto 6.(B) - Clasificación superficie urbana ID:24, (C) - Imágen de alta resolución Google Earth. (Florenia - Colombia)	10
Figura 5. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de Mapbiomas Perú. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10	10
Figura 6. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10. Fuente: Mosaico Landsat del año 2025, combinación SWIR-NIR-RED con configuración de ganancia gain 0.08, 0.06, 0.2 respectivamente	11
Figura 7. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10 sobre los polígonos envolventes (áreas de clasificación) en color amarillo	11
Figura 8. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de Mapbiomas Perú	12
Figura 9. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill	14
Figura 10. Esquema de funcionalidad de filtro temporal	15
Figura 11. Esquema de funcionalidad de filtro frecuencia	15
Figura 12. Esquema de funcionalidad de filtro espacial	16
Figura 13. Flujo metodológico de la clasificación de Otra área antrópica sin vegetación Colección 4.0	17

1. Introducción

La colección de mapas versión 4.0 de MapBiomias Perú incorpora el mapeo de otra área antrópica sin vegetación como capa binaria de tipo transversal en el territorio peruano. Esta clase de cobertura está constituida por instalaciones destinadas a la crianza y producción intensiva de aves, principalmente pollos y gallinas, caracterizadas por estructuras alargadas y de disposición regular asociadas a actividades avícolas. En el marco de esta metodología transversal, la clase Otra área antrópica sin vegetación (ID 25) está orientada a la identificación de infraestructura asociada principalmente a la actividad avícola en los biomas Desierto Costero y Bosque Seco Ecuatorial.

La serie de datos Landsat ha permitido perfeccionar la disponibilidad de información anual para Mapbiomas Perú a nivel regional como punto de partida en la presente colección a través del procesamiento automatizado en la nube desde Google Earth Engine. Los fundamentos metodológicos utilizados para el mapeo multitemporal de Otra área antrópica sin vegetación (ID:25) durante los últimos 41 años se describen a continuación teniendo en cuenta la siguiente estructura:

- A. Composición de mosaicos de imágenes satelitales.
- B. Clasificación multitemporal binaria de tipo transversal.
- C. Post-clasificación.

2. Marco teórico

La actividad avícola constituye un componente relevante del sector agropecuario peruano y comprende la crianza y producción intensiva de aves, principalmente pollos y gallinas destinados a la producción de carne y huevos. En el país, la actividad avícola presenta una importancia económica significativa y se caracteriza por una producción especializada y en continuo desarrollo, asociada a una creciente demanda de alimentos de origen animal (Midagri, 2024).

Desde una perspectiva territorial, la producción avícola intensiva requiere infraestructura especializada para el alojamiento, manejo y producción de las aves. Estas instalaciones se caracterizan frecuentemente por la presencia de estructuras de gran longitud, geometría regular y disposición organizada, que pueden diferenciarse de otras coberturas antrópicas presentes en el territorio. (Koc et al., 2020). Debido a sus características espaciales y espectrales, así como a la disposición regular y agrupada de sus estructuras, las instalaciones avícolas pueden presentar patrones distinguibles en imágenes de sensores remotos, permitiendo su identificación mediante técnicas de interpretación y clasificación de imágenes satelitales (Belton et al., 2025).

En el contexto del mapeo de cobertura y uso del suelo, las instalaciones destinadas a la producción avícola pueden considerarse elementos de origen antrópico asociados a superficies sin cobertura vegetal. Su identificación permite representar espacialmente una actividad productiva que genera una transformación localizada del territorio y cuya distribución puede estar relacionada con las condiciones ambientales, la disponibilidad de suelo y agua, la accesibilidad y la concentración de actividades agropecuarias.

La teledetección constituye una herramienta adecuada para el reconocimiento y monitoreo de este tipo de elementos debido a su capacidad para identificar patrones espaciales y espectrales presentes en imágenes satelitales (Phiri et al., 2020). En particular, los productos

de MapBiomass se generan mediante clasificación pixel a pixel de imágenes Landsat y el empleo de algoritmos de aprendizaje automático, permitiendo construir series históricas de cobertura y uso del suelo.

En este contexto, la incorporación de las instalaciones avícolas como categoría antrópica permite complementar la representación de las transformaciones territoriales asociadas a actividades productivas. En el caso peruano, el mapeo se orientó principalmente a los biomas Desierto Costero y Bosque Seco Ecuatorial, donde se identificaron estructuras destinadas a la crianza intensiva de aves mediante sus patrones espaciales característicos. Esta clasificación representa la expresión espacial de la infraestructura asociada a la actividad avícola y no variables productivas como el número de aves, volumen de producción o capacidad instalada; por ello, su representación como capa binaria permite identificar la presencia o ausencia de estas instalaciones y analizar su distribución territorial entre los años 1985 y 2025 en relación con otras coberturas y usos del suelo.

3. Metodología

3.1. Área de estudio



Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Otra área antrópica sin vegetación (ID 25) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

La clasificación se realizó en seis regiones de clasificación (70503–70508), localizadas en los biomas Desierto Costero y Bosque Seco Ecuatorial, donde se concentró el mapeo transversal de esta clase.

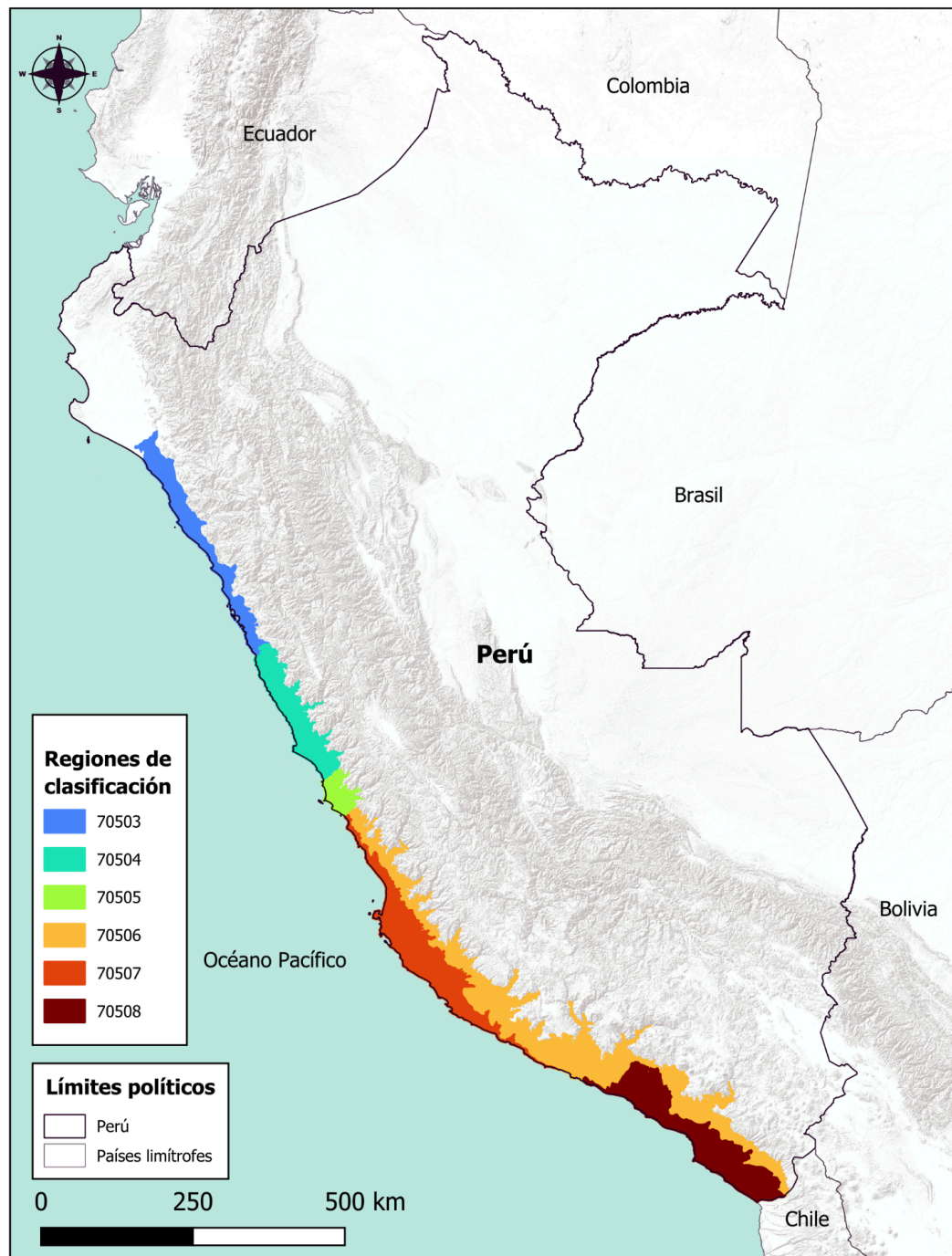


Figura 2. Regiones de clasificación.

Tabla 1. Regiones de clasificación.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 705	Costa Norte	70503
		70504
		70505
		70506
	Costa Centro	70507
		70508

Fuente: Elaboración propia

3.2. Generación de mosaicos anuales

Para la clasificación transversal de la clase Otra área antrópica sin vegetación se utilizaron los mosaicos anuales generados previamente para la clasificación general de Cobertura y Uso del Suelo de la Colección 4.0 de MapBiomás Perú. Estos mosaicos fueron producidos a partir de imágenes satelitales de reflectancia de superficie con corrección atmosférica de los sensores Landsat 4, 5, 7, 8 y 9, y comprenden una serie temporal de 41 años, desde 1985 hasta 2025. La Tabla 2 presenta las colecciones de imágenes Landsat utilizadas y disponibles en Google Earth Engine.

Tabla 2. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 4.0.

Sensor	ID Colección en GEE
Landsat 4 TM	LANDSAT/LT04/C02/T1_SR
Landsat 5 TM	LANDSAT/LT05/C02/T1_SR
Landsat 7 ETM+	LANDSAT/LE07/C02/T1_SR
Landsat 8 OLI /TIRS	LANDSAT/LC08/C02/T1_SR
Landsat 9	LANDSAT/LC09/C02/T1_L2

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 resume la metodología general empleada para la generación de los mosaicos anuales de la Colección 4.0 de MapBiomás Perú. El proceso considera la disponibilidad anual de imágenes Landsat, la grilla de cartas millonésimas utilizada para la organización espacial de los mosaicos y la definición de parámetros asociados a la temporalidad de las imágenes, los sensores disponibles, la cobertura de nubes y la exclusión de escenas que pudieran afectar la calidad de las composiciones anuales.

Adicionalmente, la metodología general incorpora información topográfica derivada del modelo digital de elevación SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponible en Google Earth Engine.

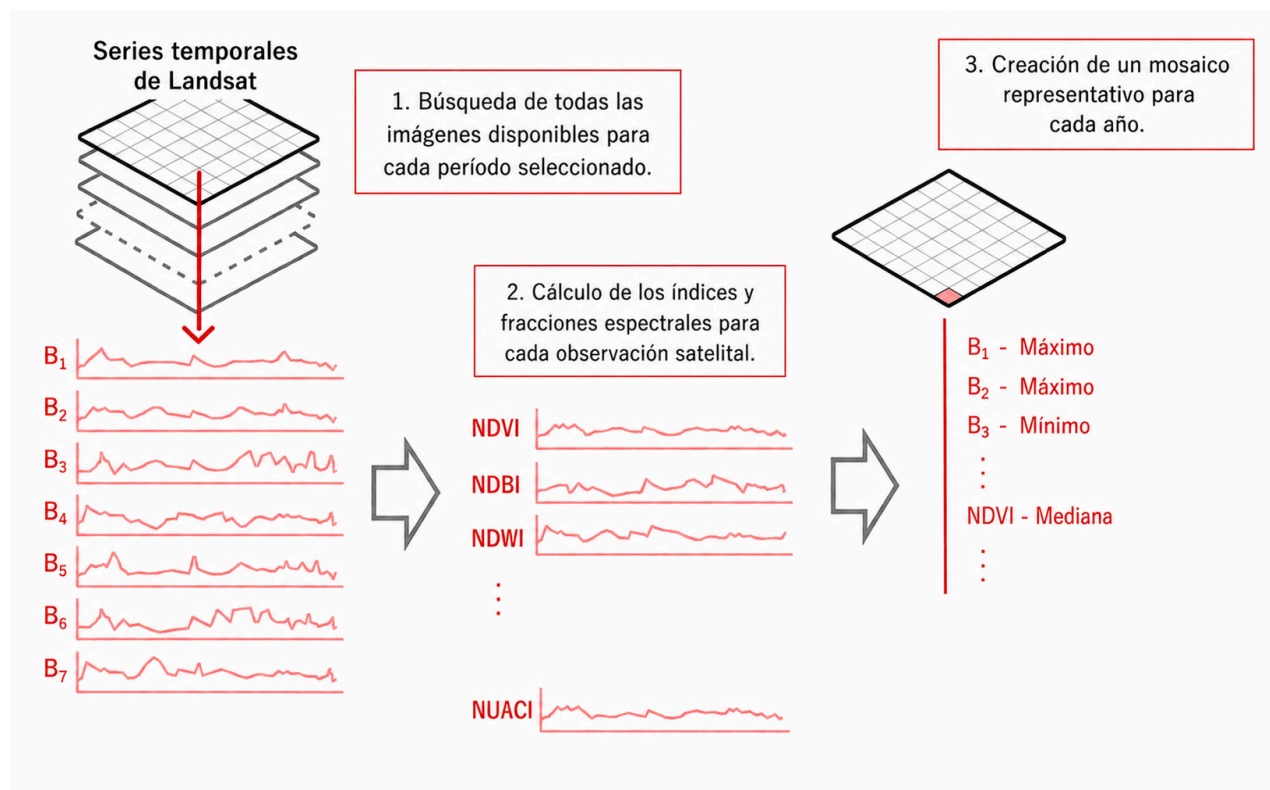


Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0 Mapbiomas Perú.

Como parte del preprocesamiento general de las imágenes Landsat, se aplicaron procedimientos para la identificación y enmascaramiento de píxeles afectados por nubes, sombras y otras condiciones que pudieran comprometer la calidad de las observaciones. Una vez eliminados estos píxeles, se generaron las composiciones anuales y los reductores estadísticos utilizados para construir las variables de clasificación. La descripción detallada de los parámetros, algoritmos de enmascaramiento y procedimientos empleados para la generación de los mosaicos se encuentra en el ATBD General de MapBiomas Perú Colección 4.0.

3.3. Variables de clasificación o feature space

El siguiente paso consistió en calcular las variables de clasificación o feature space y fracciones espectrales para cada observación satelital que incluyen las bandas espectrales de Landsat, índices espectrales, información fraccional y de textura derivados de los índices y fracciones anteriores. También se emplearon variables estáticas: *HAND*, *shademask2*, *slppost*, *altitud*, *pendiente*, *latitud* y *longitud*; como apoyo a la clasificación de clases que espectralmente son muy similares pero se pueden lograr discriminar por las condiciones topográficas.

Tabla 3. Variables de clasificación o feature space

Variable	Descripción	Reductor
blue	Landsat BLUE band	Mediana
green	Landsat GREEN band	Mediana
red	Landsat RED band	Mediana
nir	Landsat NIR band	Mediana
swir1	Landsat SWIR1 band	Mediana
swir2	Landsat SWIR2 band	Mediana
soil	Soil Fraction	Mediana
snow	Snow Fraction	Mediana
cloud	Cloud Fraction	Mediana
slope	Slope	Variable topográfica estática
ndvi	Normalized Difference Vegetation Index	Mediana
ndwi_mcfeters	Normalized Difference Water Index (Mcfeeters)	Mediana
ndbi	Normalized Difference Built-up	Mediana
nuaci	Normalized Urban Areas Composite Index	Mediana

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se creó un mosaico representativo para cada año constituido por 156 bandas en total¹ fundamentados en el cálculo de reductores estadísticos para generar los valores de cada píxel. Del conjunto de variables disponibles en los mosaicos generales, para la clasificación de Otra área antrópica sin vegetación se utilizaron las variables presentadas en la Tabla 3. Estos reductores corresponden a:

Tabla 4. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Otra área antrópica sin vegetación Colección 4.0.

Reductor	Descripción
Mediana	Mediana de todos los valores disponibles en el mosaico anual para esa ubicación (píxel).
Mediana época seca	Cálculo de la mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil (con los menores valores) de NDVI (proxy de época seca).

¹ Ver detalle completo en la descripción de bandas y variables en la ATBD General de Mapbiomas Perú Colección 4.0.

Mediana época húmeda	Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).
Amplitud	Extensión de la variación entre todos los píxeles disponibles en el mosaico anual.
Desviación estándar	Desviación estándar de los valores de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual para una ubicación determinada.
Mínimo	Menor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
Máximo	Mayor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
Mínimo del periodo seco	Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca).
Mínimo del periodo húmedo	Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
Máximo del periodo seco	Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (proxy de época seca).
Máximo del periodo húmedo	Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de época lluviosa).
QMO del periodo seco	El valor más alto que tiene la banda en el índice evi2 en la estación seca.
QMO del periodo lluvioso	El valor más alto que tiene la banda en el índice evi2 en la estación húmeda.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Clasificación

3.4.1. Fuentes de referencia

Se tomaron varios puntos de muestras en campo en la zona cercana a El Vergel (Huacho), donde se ubican los galpones destinados a la crianza de pollos (ver Figura 4), con el fin de recolectar muestras representativas de la cobertura de interés. Posteriormente, estos puntos fueron exportados a Google Earth Pro para su visualización espacial como un mapa de puntos. Es así que como apoyo para la interpretación visual se emplearon imágenes de alta resolución de Google Earth (Figura 5) y los mosaicos Landsat (Figura 6).

A partir de esta información se identificaron las áreas correspondientes a la cobertura de interés y se delimitaron manualmente polígonos envolventes (áreas de clasificación) utilizando las herramientas de dibujo de Google Earth Engine. Cada polígono podía abarcar una o varias áreas con la misma cobertura. Durante este proceso se procuró mantener un balance entre la superficie perteneciente a la clase de interés y la superficie correspondiente

a las demás coberturas, con el objetivo de proporcionar muestras representativas que favorecieran el entrenamiento del algoritmo de clasificación. Debido a la heterogeneidad espacial de algunas zonas, fue necesario digitalizar un número considerable de polígonos para representar adecuadamente la variabilidad presente en el área de estudio.



Figura 4. Visualización en campo de punto 6. Fuente: Foto tomada en campo.

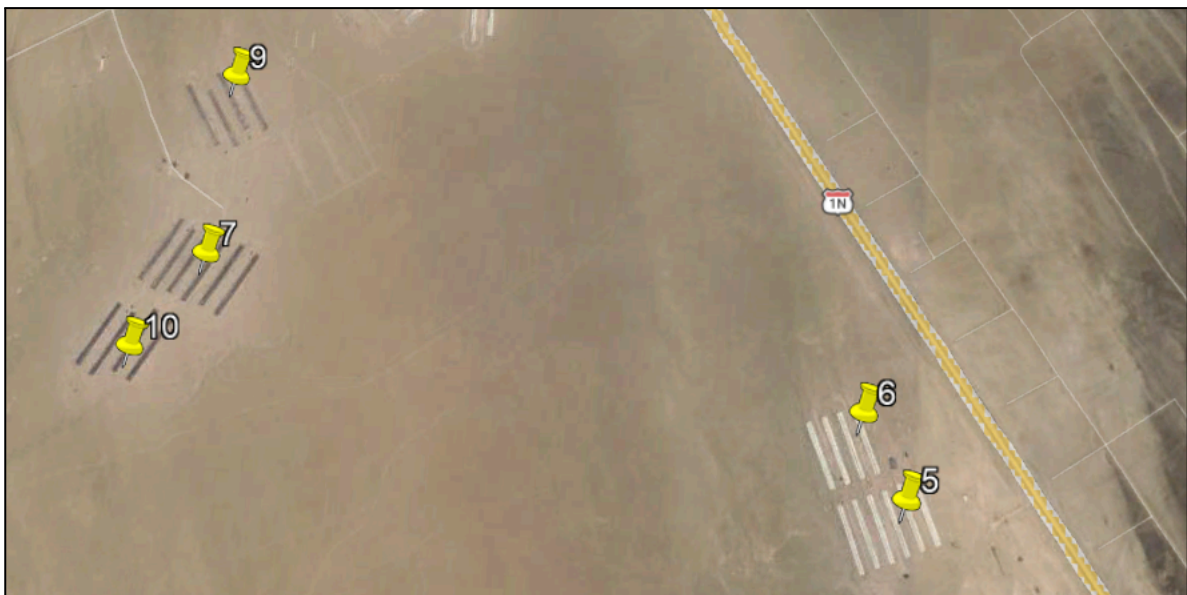


Figura 5. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de Mapbiomas Perú. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10. Fuente: Google Earth Pro.

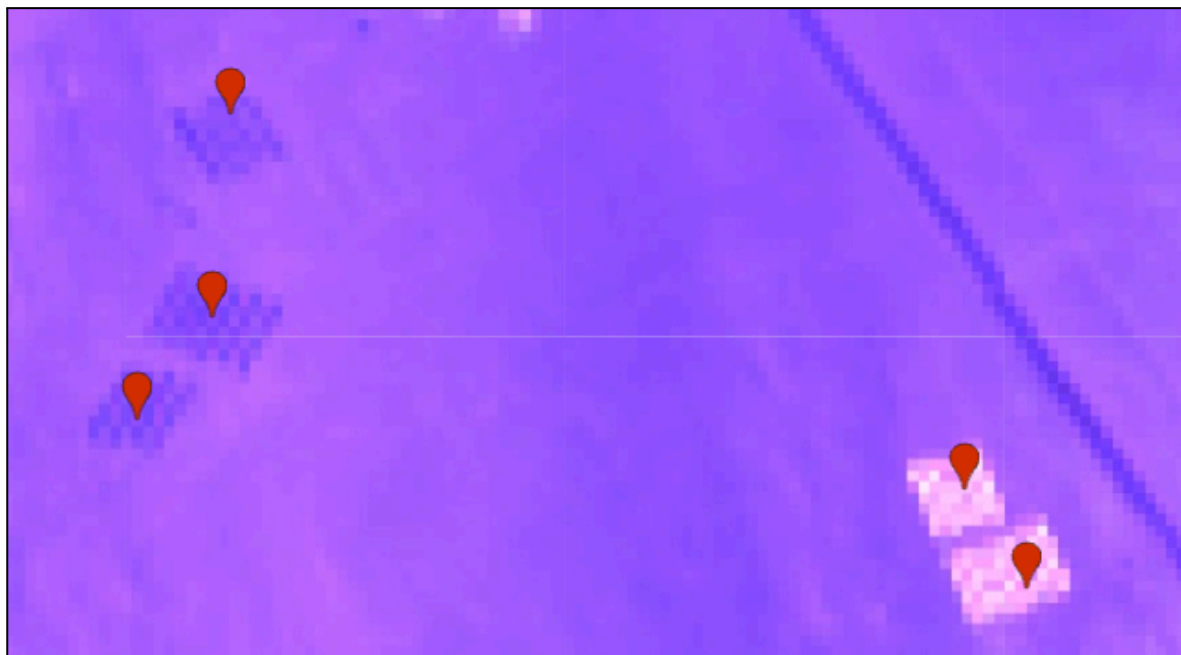


Figura 6. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10. Fuente: Mosaico Landsat del año 2025, combinación SWIR-NIR-RED con configuración de ganancia gain 0.08, 0.06, 0.2 respectivamente.

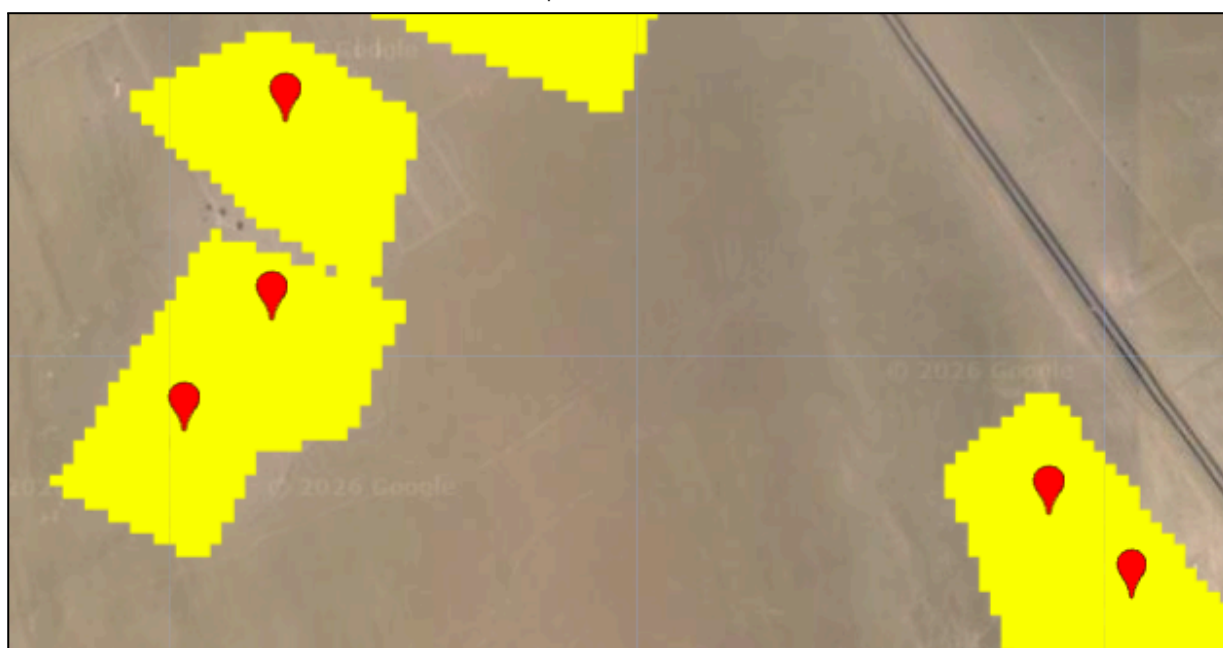


Figura 7. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10 sobre los polígonos envolventes (áreas de clasificación) en color amarillo. Fuente: Mosaico Landsat del año 2025, combinación SWIR-NIR-RED con mínimo de 200 y un máximo 5000.

3.4.2. Muestras de entrenamiento

Dentro de las envolventes (polígonos) que delimitan las áreas de interés se definieron manualmente dos tipos de polígonos de entrenamiento: uno definido como 'Estable_clase_25' (ID 25), que contiene estrictamente el área de Otra área antrópica sin vegetación que son estables a lo largo de los 41 años (1985-2025) y el segundo definido como "Estable_clase_27" utilizado como clase complementaria durante la clasificación binaria y

conformado por áreas que no corresponden a la clase Otra área antrópica sin vegetación (ID 25) y que mantienen esta condición a lo largo de la serie temporal.

Las muestras de entrenamiento tomadas dentro del área de interés (envolventes cuadradas/geométricas) son las que se utilizan para generar la clasificación de la clase Otra área antrópica sin vegetación. Las áreas ubicadas fuera de las envolventes delimitadas no fueron incluidas en el proceso de clasificación de esta clase y corresponden a otras coberturas dentro de la leyenda de MapBiomás Perú. Para ello se utilizó la combinación de bandas SWIR-NIR-RED con un mínimo 200 y máximo de 5000 ya que mostraba fácilmente las diferencias entre suelo desnudo y otra área antrópica sin vegetación (ver Figura 7).



Figura 8. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de Mapbiomas Perú. Visualización de puntos 5,6,7,9 y 10. Fuente: Mosaico Landsat del año 2025, combinación SWIR-NIR-RED con mínimo de 200 y un máximo 5000.

De manera complementaria, al existir pocos galpones que poseían la característica estricta de no cambiar a lo largo de toda la serie temporal, se tomaron muestras adicionales (Muestras no estables) que solo ocupaban un rango de años determinado, de esta manera se obtuvo un balance de muestras representativas que favorecieran el entrenamiento del algoritmo de clasificación.

3.4.3. Algoritmos de clasificación

Se implementó el algoritmo de aprendizaje automático bosques aleatorios (Random Forest) (Breiman, 2001), en la plataforma de Google Earth Engine. Se generaron muestras de

entrenamiento y se clasificó posteriormente en función al comportamiento de las variables empleadas y el apoyo sustentado en mapas de referencia disponibles a nivel regional como OpenStreetMap e información de referencia nacional y mundial.

El objetivo de la clasificación consistió en producir una capa binaria entre Otra área antrópica sin vegetación y áreas que no lo son; considerando únicamente dos posibilidades para cada píxel (25: Presencia de Otra área antrópica sin vegetación, 27: Ausencia de Otra área antrópica sin vegetación). La clasificación a partir de muestras de entrenamiento sobre los mosaicos Landsat se realizó por medio del algoritmo de clasificación Random Forest (RF) (Breiman, 2001).

La clasificación se realizó sobre las áreas de clasificación comentadas en la sección 3.4.1.

3.5. Post-clasificación

Debido a la naturaleza basada en píxeles del método de clasificación y el trabajo sobre una serie temporal extensa, se ejecutó un proceso de post-clasificación que incluye la aplicación de filtros temporales y morfológicos (filtro de relleno, espacial y de frecuencia) sobre la discriminación binaria de Otra área antrópica sin vegetación con el propósito de reducir inconsistencias temporales, reducir ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo y llenar vacíos de información.

3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill

El filtro de relleno de vacíos temporales (*Gap Fill*) se aplicó con el objetivo de completar los píxeles sin información presentes en la serie anual de clasificación. Previamente, se aseguró la existencia de una banda correspondiente a cada año del periodo 1985–2025; cuando alguna banda anual no se encontraba disponible, esta se incorporó como una banda enmascarada. Asimismo, para los años definidos en la parametrización del proceso, se identificaron como vacíos aquellos píxeles donde los mosaicos Landsat no presentaban información válida.

El procedimiento se ejecutó mediante dos barridos consecutivos de la serie temporal. En el primer barrido, realizado desde el inicio hacia el final de la serie (1985–2025), los píxeles sin información fueron completados utilizando el último valor válido disponible en los años precedentes. De esta manera, cuando se presentaron vacíos consecutivos, el último valor válido observado se propagó hacia los años siguientes. Posteriormente, se realizó un segundo barrido en sentido inverso, desde el final hacia el inicio de la serie (2025–1985), mediante el cual los vacíos que permanecieron sin completar fueron rellenados utilizando el valor válido posterior más próximo.

De manera complementaria, se generó una imagen que registra el año de procedencia del valor utilizado en el relleno de cada píxel, permitiendo identificar el origen temporal de la información incorporada. De este modo, el filtro permite reducir los vacíos de información de la serie antes de la aplicación de los filtros posteriores de posclasificación (ver Figura 9)

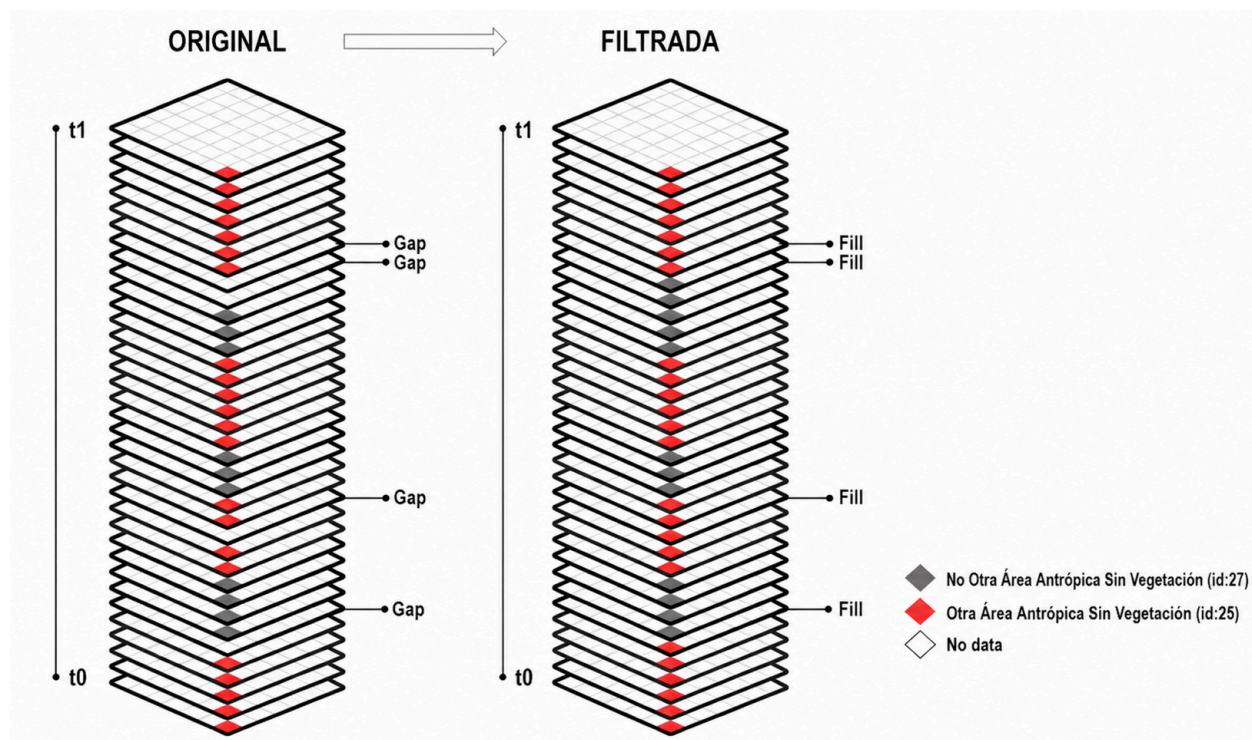


Figura 9. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill, en donde t0 representa el primer año y t1 el último año.

3.5.2. Filtro Temporal

Se ejecutó un filtro temporal utilizando ventanas de 3, 4 y 5 años en toda la serie de tiempo. El filtro inspecciona el valor de cada píxel clasificado en relación al valor de ese píxel en clasificaciones temporalmente consecutivas. Para ello emplea una ventana móvil unidireccional que toma en consideración secuencias de clasificaciones de 3 a 5 años e identifica transiciones temporales no permitidas. El filtro temporal se aplica a cada píxel de todos los años de la colección. Dependiendo del año que la regla modificará, existen tres tipos de reglas:

Reglas generales (RG): Aplicadas a píxeles de años en posiciones intermedias en secuencias de 3 a 5 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 4 o 5 años, existen dos o tres alternativas de posiciones centrales. Esta regla modifica los valores de las clasificaciones de los años 1986 al 2024.

Reglas de primer año (RP): Aplicadas únicamente al primer año de la serie temporal. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 1985.

Reglas de último año (RU): Aplicada al último año de la clasificación. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 2025.

De este modo, los filtros temporales reducen vacíos de información e inconsistencias temporales o cambios que no son posibles o no están permitidos (ver Figura 10).

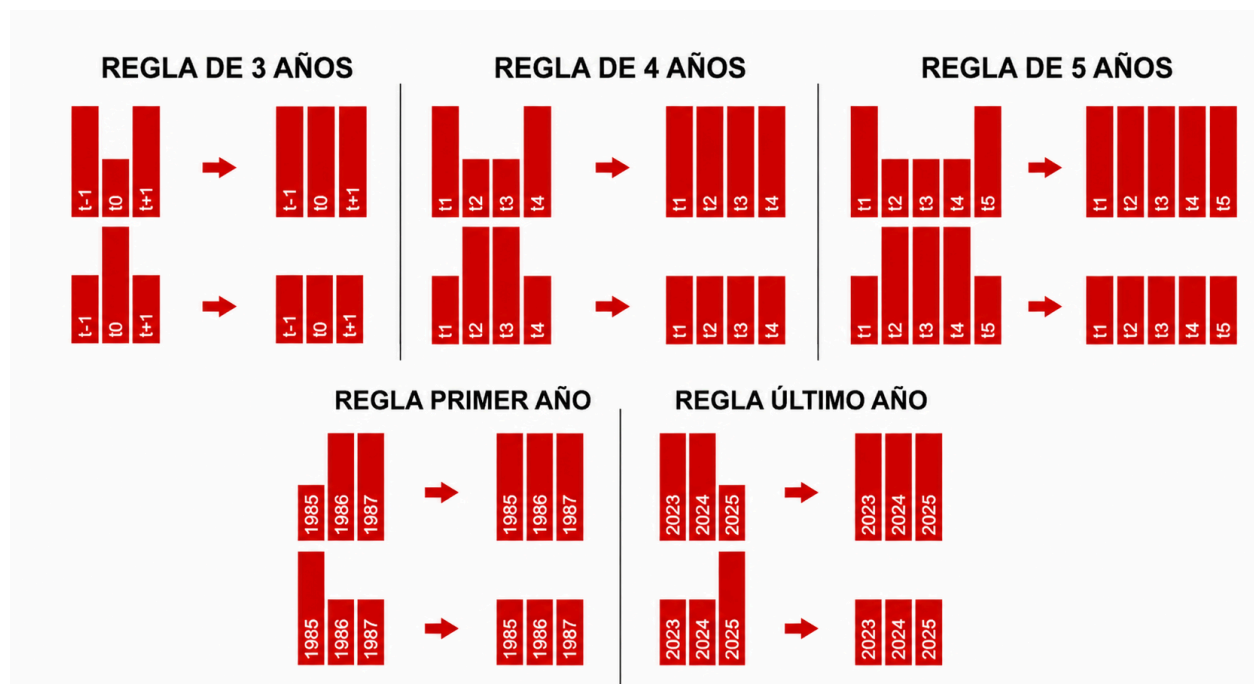


Figura 10. Esquema de funcionalidad de filtro temporal.

3.5.3. Filtro de frecuencia

Este filtro considera la ocurrencia de la clase a lo largo de la serie temporal para normalizar la trayectoria histórica de la clase. Teniendo en cuenta que el comportamiento de Otra área antrópica sin vegetación manifiesta una tendencia incremental y de expansión a lo largo de la serie se aplicaron dos filtros (primer y último año) con el fin de regular la permanencia y expansión de los píxeles clasificados como ID 25 y evitar fluctuaciones anómalas de un año a otro (ver Figura 11).

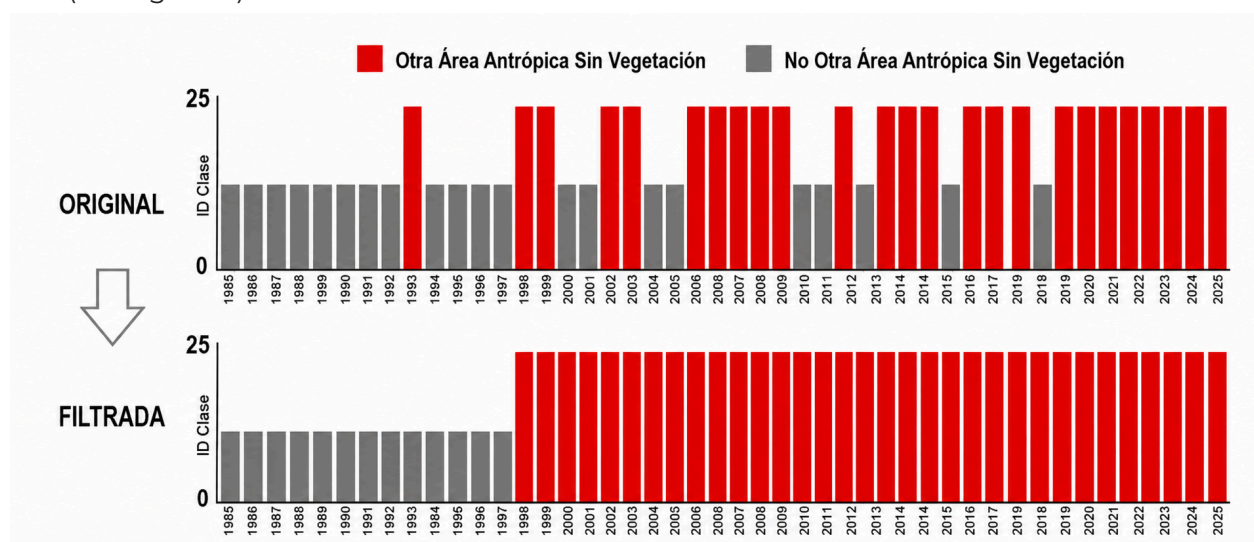


Figura 11. Esquema de funcionalidad de filtro frecuencia.

3.5.4. Filtro espacial

El último filtro de la secuencia aplicada en post-clasificación fue el filtro espacial basado en la función "connectedPixelCount" de Google Earth Engine. Esta función localiza píxeles

conectados (vecinos) que comparten el mismo valor empleando una ventana móvil. Únicamente los píxeles que no comparten una conexión con un número predefinido de vecinos idénticos son considerados como píxeles aislados. En el caso de Mapbiomas Perú, la unidad mínima de mapeo fue definida como 0.3 ha (aproximadamente 3 píxeles). Consecuentemente, se requirió que por lo menos tres píxeles estén conectados para cumplir con el criterio de conexión mínima. De este modo, el filtro espacial suaviza diferencias locales al eliminar píxeles aislados o de borde menores a 0.3 ha, incrementando la consistencia espacial de la clase (ver Figura 12).

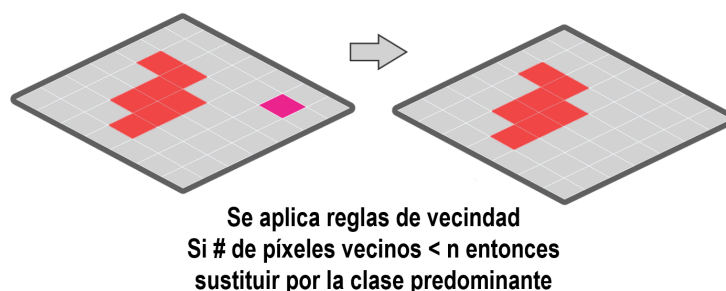


Figura 12. Esquema de funcionalidad de filtro espacial.

De manera complementaria, se aplicaron ajustes específicos de carácter temporal y espacial en función de las características y necesidades identificadas en cada región de clasificación o período 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 realizar la clasificación de todas las regiones de clasificación se procedió a integrar estas mismas para así obtener un mapa nacional de la clase transversal trabajada.

3.7. Resumen metodológico

Los pasos de clasificación para la generación del transversal de Otra área antrópica sin vegetación se representan esquemáticamente en el siguiente gráfico. (ver Figura 13).

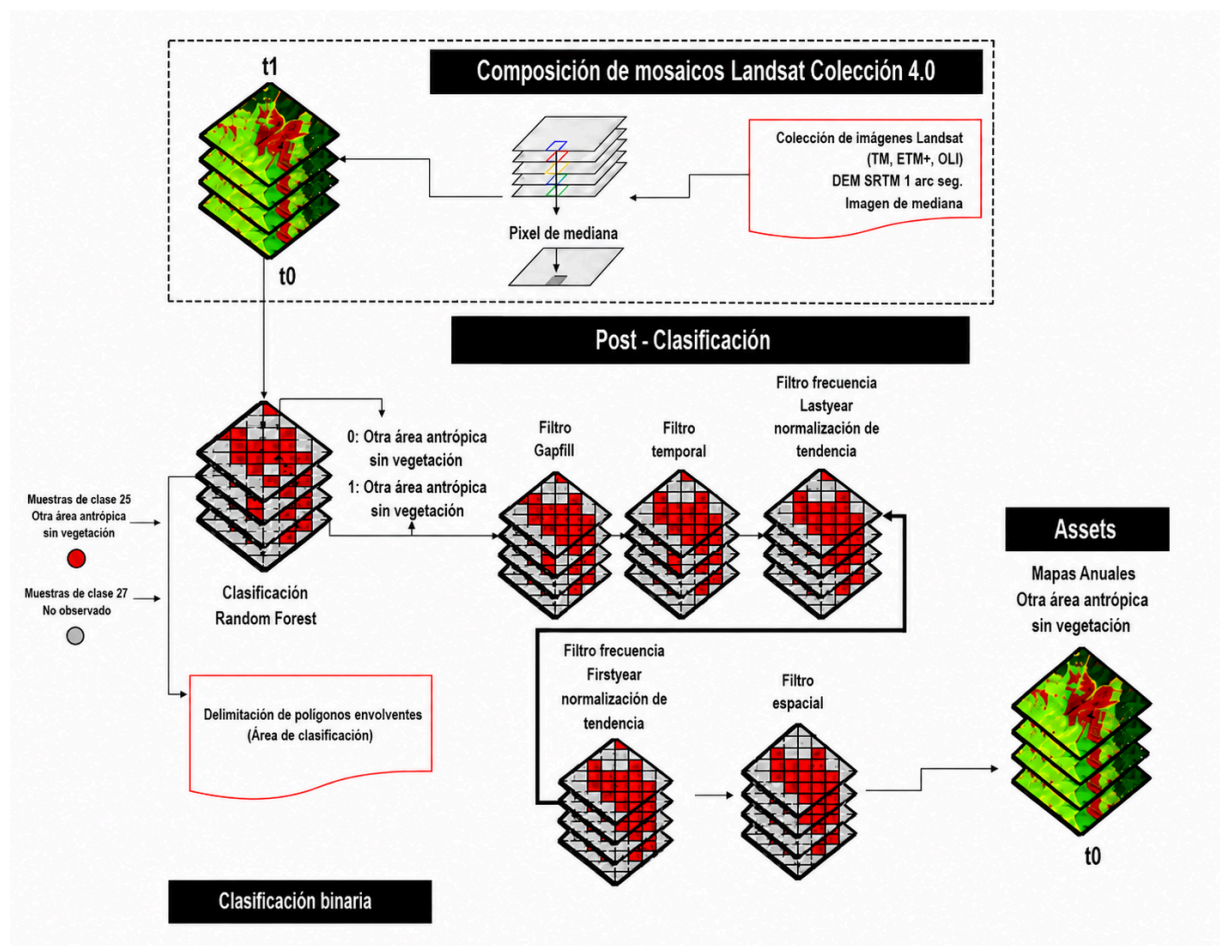


Figura 13. Flujo metodológico de la clasificación de Otra área antrópica sin vegetación Colección 4.0., en donde t0 representa el primer año y t1 el último año.

4. Referencias

Belton, B., Fang, P., Liu, S., Zhang, K., & Zhang, X. (2025). Geospatial analysis enables combined poultry–fish farm monitoring in the fragile state of Myanmar. *Nature Food*, 6, 664–667. <https://doi.org/10.1038/s43016-025-01192-1>

Breiman, L. (2001). Random Forest. Statistics Department University of California Berkeley. 1-30.

Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H. & Liu, S. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *Int. J. Remote Sens.* 34, 2607-2654.

Koc, A. B., Anderson, P. T., Chastain, J. P., & Post, C. (2020). Estimating rooftop areas of poultry houses using UAV and satellite images. *Drones*, 4(4), 76. <https://doi.org/10.3390/drones4040076>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2024). Boletín Avícola: Producción y Comercialización de Productos Avícolas, octubre 2024. Dirección de Estadística e Información Agraria, Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA). Fuente oficial – MIDAGRI/SIEA

Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(18), 3062. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>

UCLG (2018). *Amazonian Cities. Peer Learning about the sustainable use of terrestrial ecosystems #23*. United Cities and Local Governments. Bolivia. 36 p.