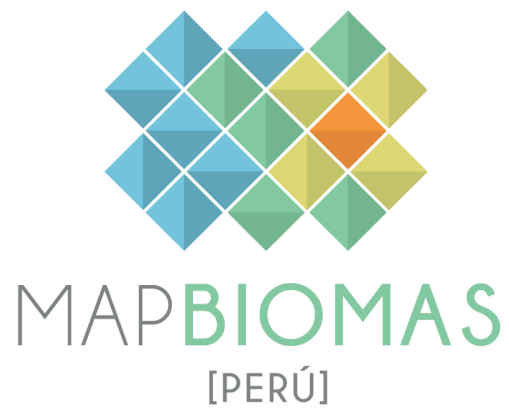




Apéndice - Infraestructura Urbana

Tema transversal

Colección 4.0

Equipo responsable

Zuley Cáceres
Lucy Flores
Valeria Llactayo
Andrea Bravo
Efrain Yury Turpo Cayo
Kathrin Hopfgartner

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	10
3.4.1. Mapas de referencia	10
3.4.2. Muestras de entrenamiento	12
3.4.3. Algoritmos de clasificación	13
3.5. Posclasificación	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	16
3.6. Integración	17
3.7. Resumen metodológico	17
4. Referencias	17

Índice de tablas

Tabla 1. Definición detallada de Infraestructura Urbana Colección 4.0.	4
Tabla 2. Regiones de clasificación.	6
Tabla 3. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 4.0.	7
Tabla 4. Variables de clasificación o feature space	9
Tabla 5. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 4.0.	9
Tabla 6. Información empleada como referencia nacional en el proceso de clasificación de Infraestructura urbana.	12
Tabla 7. Información empleada como referencia nacional en el proceso de clasificación de Infraestructura urbana.	12

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Infraestructura Urbana (ID 24) 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 MapBiomias Perú.	8
Figura 4. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomias Perú	11
Figura 5. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill	14
Figura 6. Esquema ejemplo de funcionalidad de filtro temporal	15
Figura 7. Esquema ejemplo de funcionalidad de filtro frecuencia	16
Figura 8. Esquema de funcionalidad de filtro espacial.	16
Figura 9. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 4.0.	17

1. Introducción

La colección de mapas versión 4.0 de MapBiomias Perú incorpora el mapeo de Infraestructura urbana como capa binaria de tipo transversal en el territorio peruano. Esta clase de cobertura está constituida por superficies de infraestructura asociada a grandes y pequeños centros urbanos (pueblos) y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo en transición hacia fines residenciales, zonas industriales, redes viales, bases militares, redes de comunicación, aeropuertos y zonas verdes urbanas artificiales, no agrícolas.

Los paisajes urbanos están configurados espacialmente en numerosos focos de concentración de infraestructura que yacen sobre la gran extensión del territorio peruano. Algunas zonas urbanas han surgido principalmente de la concentración demográfica rural que con el tiempo se han integrado en el conjunto de ciudades en diferentes jerarquías según su condición territorial. En MapBiomias Perú se incluyen ciudades intermedias, ciudades fronterizas y centros rurales en paulatina expansión. Las conocidas ciudades intermedias predominan en la región y están definidas como centros en donde su economía está basada en el territorio circundante. Estos nodos tienen características transnacionales que generan proximidad con su entorno para diversificar sus mecanismos socioeconómicos (UCLG, 2018).

Otras iniciativas mundiales han desarrollado el mapeo del suelo urbano utilizando diferentes técnicas de teledetección y fuentes de datos (Schneider *et al.*, 2010), se encuentran disponibles productos globales como FROM-GLC de Gong *et al.* (2013) y GlobeLand30 de Chen *et al.* (2015) no obstante, esta información está disponible para un rango de años restringido; esto ha dificultado el monitoreo del comportamiento urbano durante un periodo histórico prolongado.

La serie de datos Landsat ha permitido perfeccionar la disponibilidad de información anual para MapBiomias 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 Infraestructura Urbana (ID:24) 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. Posclasificación.

2. Marco teórico

Esta clase de cobertura está definida como superficies de infraestructura asociada a grandes y pequeños centros urbanos (pueblos) y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo¹ en transición hacia fines residenciales, zonas industriales, redes viales, bases militares, redes de comunicación, aeropuertos y zonas verdes urbanas artificiales, no agrícolas (ver Tabla 1).

¹ Área mínima de mapeo: mayor o igual a media hectárea (≥ 0.3 ha): aproximadamente 3 píxeles Landsat de 30 m².

La estructura del presente documento tomó como referencia el Apéndice de Infraestructura Urbana de MapBiomias Brasil para la Colección 4 (Souza *et al.*, 2019), adaptado al contexto metodológico y territorial de MapBiomias Perú Colección 4.0.

Tabla 1. Definición detallada de Infraestructura Urbana Colección 4.0.

Incluye	Excluye
1. Zonas urbanizadas	Comunidades Indígenas
1.1. Tejido urbano continuo (Grandes centros poblados)	Carreteras y caminos sin pavimentar en zonas rurales
1.2. Tejido urbano discontinuo (Pueblos)	
2. Redes viales	
2.1. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	
3. Otras zonas artificializadas	
3.1. Obras de explotación de hidrocarburos (Bloques petroleros)	
3.3. Hidroeléctricas	
3.4. Aeropuertos (Pistas de aterrizaje en centros urbanos)	
3.5. Zonas portuarias	
3.6. Instalaciones recreativas en centros urbanos	
Pistas de aterrizaje no convencionales en zonas rurales	

Fuente: Elaboración propia.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El ámbito de estudio comprende todo el territorio peruano y considera los cuatro biomas definidos para la clasificación de MapBiomas Perú: Desierto Costero, Bosque Seco Ecuatorial, Andes y Amazonía. La clasificación de la clase de Infraestructura Urbana se realizó para toda la serie temporal de la colección actual, 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 Infraestructura Urbana 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.

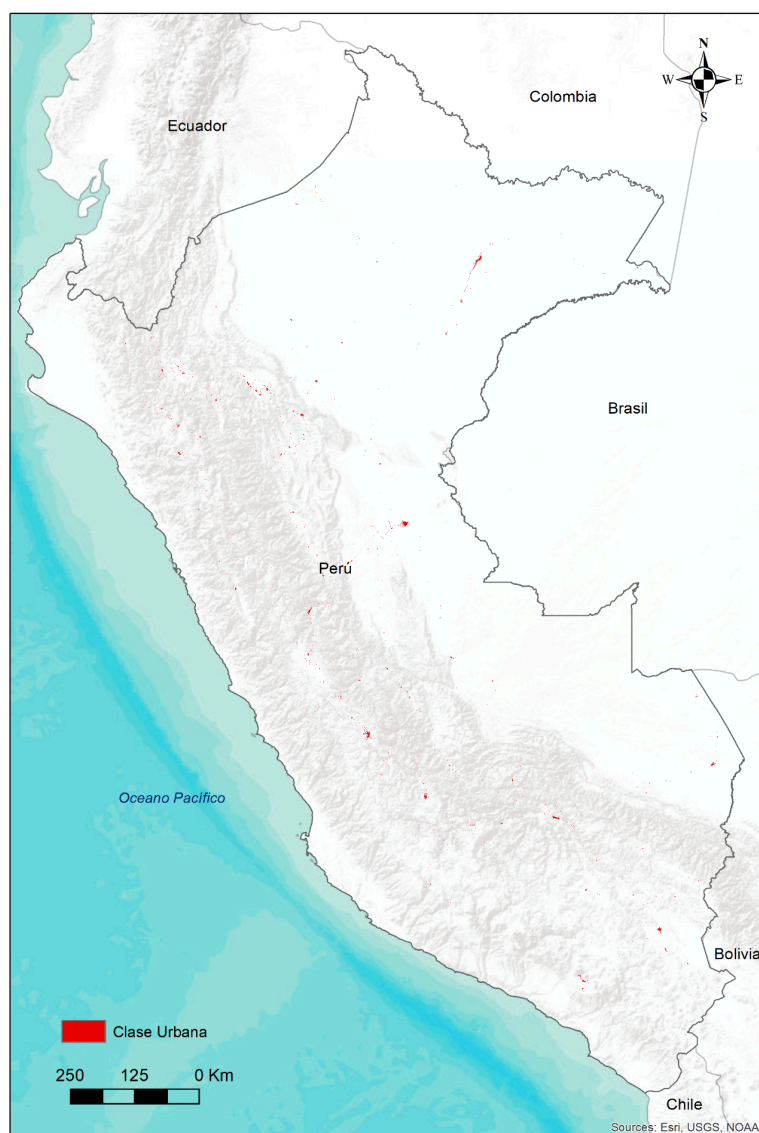


Figura 1. Mapa de acumulado de la clasificación de la clase Infraestructura Urbana (ID 24) correspondiente a toda la serie temporal (1985–2025).

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 urbanas a nivel nacional.

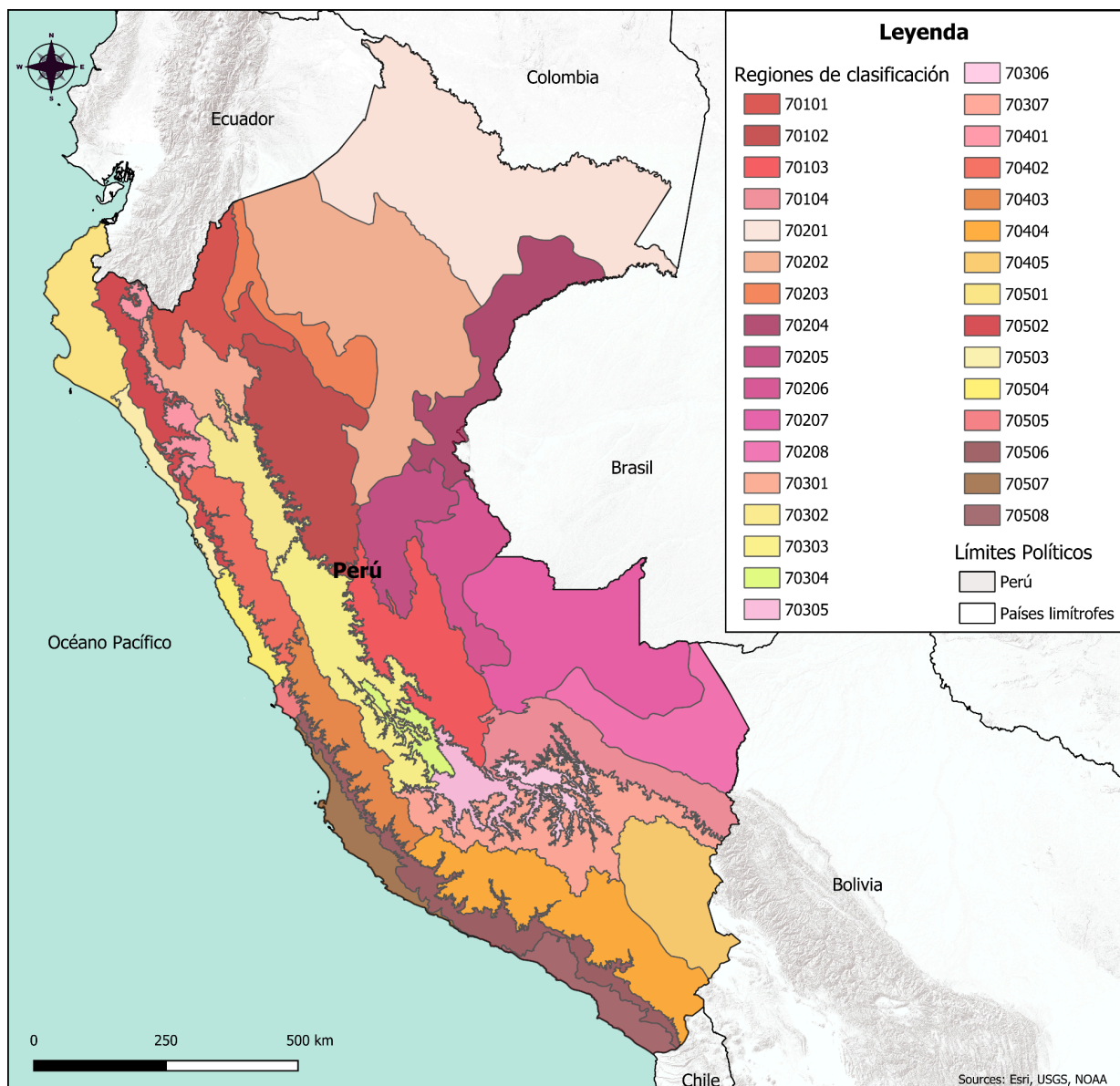


Figura 2. Regiones de clasificación.

Tabla 2. Regiones de clasificación.

Región de mosaico	Nombre de región de mosaico	Códigos
Región 701	Amazonía Alta	70101
		70102
		70103
		70104
Región 702	Amazonía Baja	70201
		70202
		70203
		70204
		70205
Región 703	Andes Alto	70301
		70302
		70303

Región 704	Andes Pacífico Alto	70401
		70402
		70403
Región 705	Costa Norte	70501
		70502
		70503
		70504
	Costa Centro	70505
		70506
	Costa Sur	70507
		70508

Fuente: Elaboración propia

3.2. Generación de mosaicos anuales

Para la clasificación transversal de la clase Infraestructura urbana 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 3 presenta las colecciones de imágenes Landsat utilizadas y disponibles en Google Earth Engine.

Tabla 3. 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.

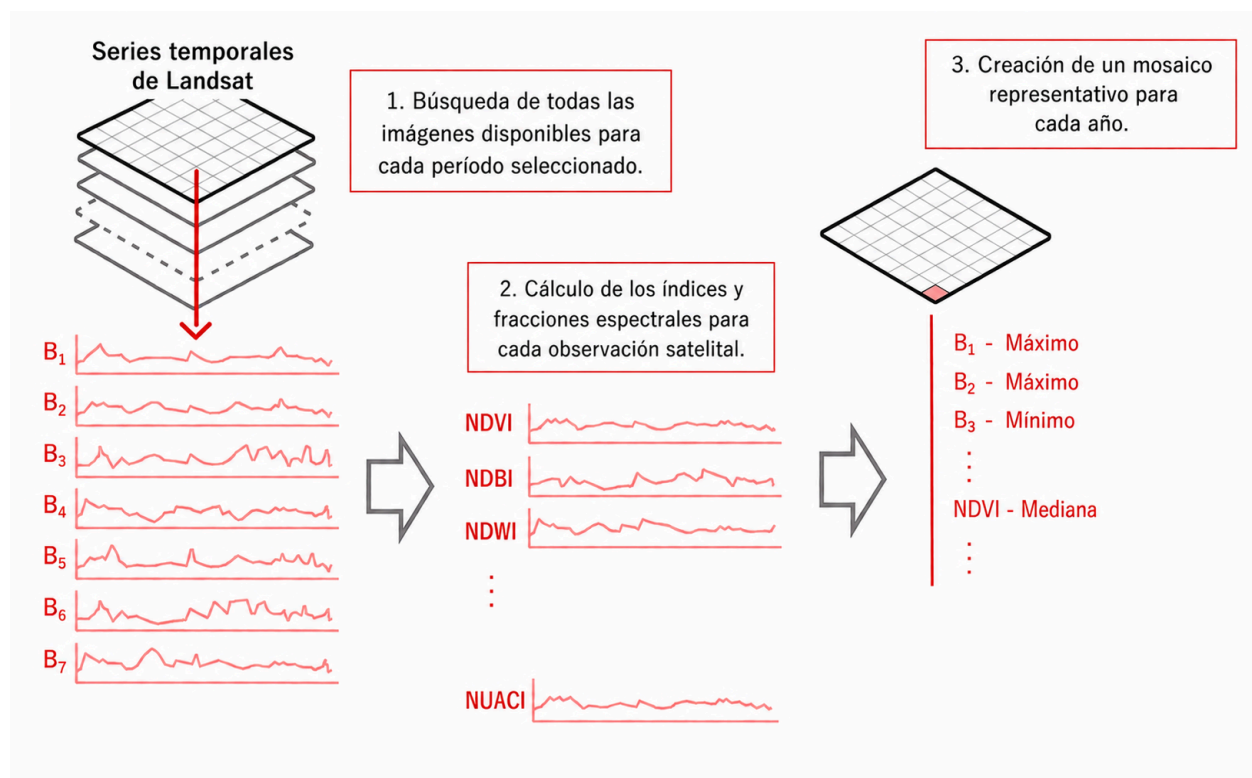


Figura 3. Método de generación de mosaicos anuales Colección 4.0 MapBiomias Perú.

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 MapBiomias Perú Colección 4.0.

3.3. Variables de clasificación o feature space

El siguiente paso consistió en generar las variables espectrales, índices, fracciones y variables auxiliares que conforman el espacio de características (feature space) 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*, *slp*, *post*, *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 4. Variables de clasificación o feature space.

Variable	Description	Reductor
blue	Landsat BLUE band	Median
green	Landsat GREEN band	Median
red	Landsat RED band	Median
nir	Landsat NIR band	Median
swir1	Landsat SWIR1 band	Median
swir2	Landsat SWIR2 band	Median
soil	Soil Fraction	Median
snow	Snow Fraction	Median
cloud	Cloud Fraction	Median
slope	Slope	Static topographic variable
ndvi	Normalized Difference Vegetation Index	Median
ndwi_mcfeters	Normalized Difference Water Index (Mcfeters)	Median
ndbi	Normalized Difference Built-up	Median
nuaci	Normalized Urban Areas Composite Index	Median

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se creó un mosaico representativo para cada año constituido por 156 bandas disponibles en total² ; para esta clasificación se utilizaron las variables presentadas en la Tabla 4. Los reductores asociados se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana 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).
Mediana época húmeda	Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).

² Ver detalle completo en la descripción de bandas y variables en la ATBD General de MapBiomás Perú Colección 4.0.

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. Mapas de referencia

Se utilizaron nueve fuentes de referencia, recopiladas de proyectos con información geográfica que disponen de datos globales en diferentes temporalidades incluyendo además, el acumulado y muestras estables de la Colección 2.0 de MapBiomás Perú a partir de la información anual desde 1985 a 2022. La información fue filtrada de acuerdo a la presencia de superficies de Infraestructura urbana o conglomerados urbanos con atributos de carácter residencial, comercial, servicios, industrial, parques entre otros.

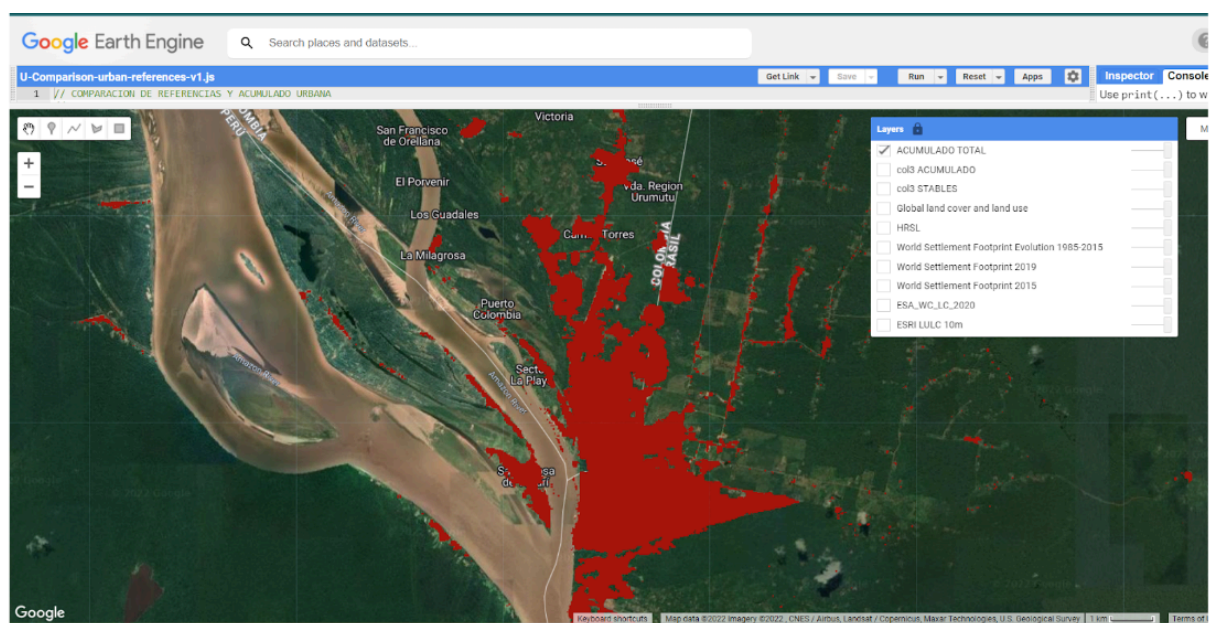
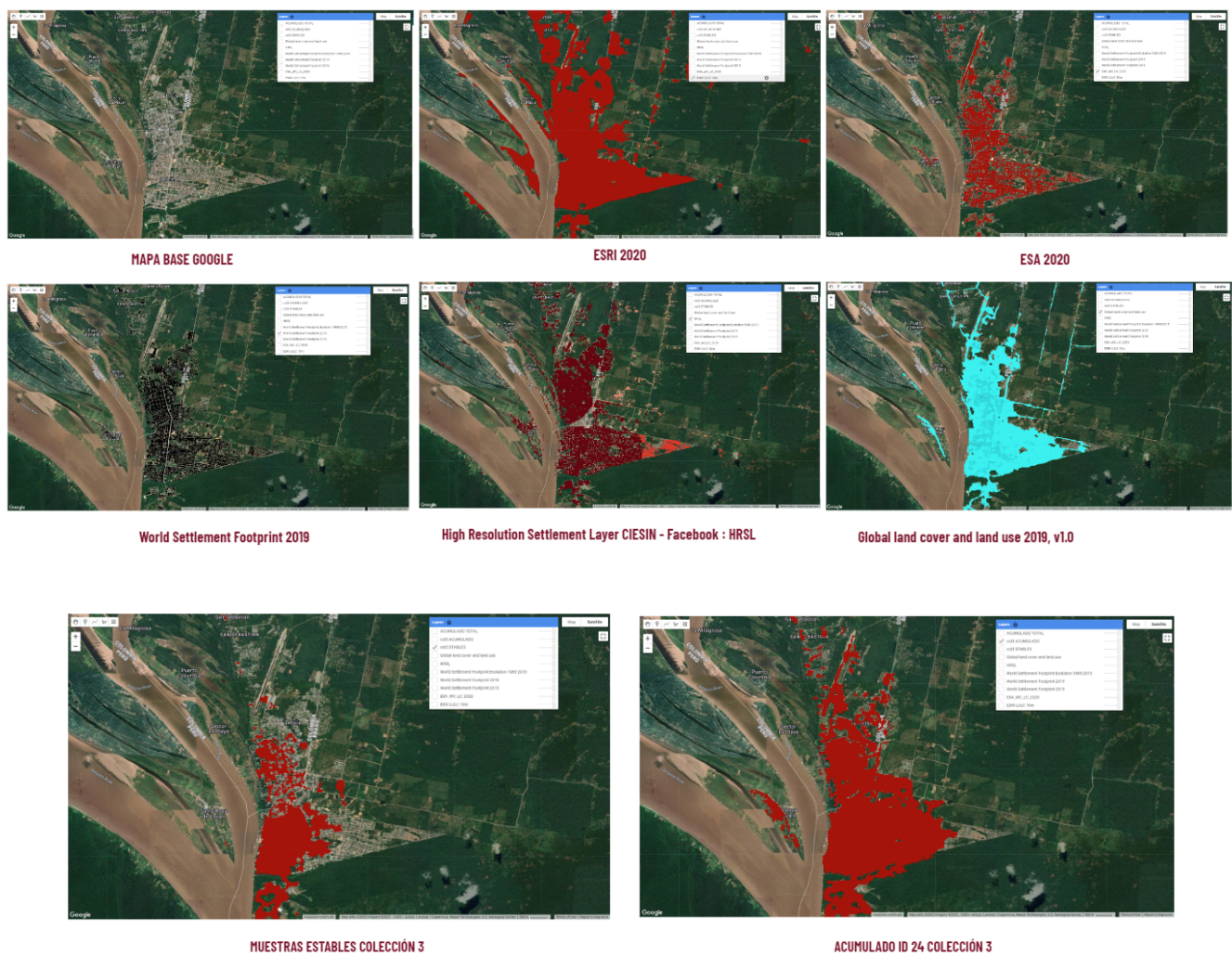


Figura 4. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomás Perú.

Las Tabla 6 y 7 describen la información secundaria empleada como fuente de referencia en el proceso de clasificación de Infraestructura urbana.

Tabla 6. Información empleada como referencia global en el proceso de clasificación de Infraestructura urbana.

Referencias Globales	
País	Perú
Ref1_stable_pixel_of_urban_Col2	
Ref2_accumulated_of_urban_Col2	●
Ref3_ESRI_Built_Area	
Ref4_ESA_WorldCover_project_2020_Built_up	●
Ref5_World Settlement Footprint 2015	
Ref6_World Settlement Footprint 2019	
Ref7_World Settlement Footprint Evolution 1985-2015	
Ref8_Mapa_densidad_población_alta_resolución_CIESIN_Fac ebook	
Ref9_Global_land_cover_and_use_2019	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Información empleada como referencia nacional en el proceso de clasificación de Infraestructura urbana.

País	Referencias nacionales	Fuente
Perú	Centros poblados, pueblos formalizados, redes viales departamentales, nacionales y vecinales.	Ministerio de Educación - MINEDU (2020), Organismo de Formalización de la Propiedad Informal - COFOPRI (2015), Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2018), OpenStreetMap (2021)

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Muestras de entrenamiento

A partir de la integración de las fuentes de referencia descritas en la sección 3.4.1, se definió un área de clasificación destinada a la generación y aplicación de las muestras de entrenamiento para la clasificación de la Infraestructura urbana (ID 24) y de la clase No Infraestructura urbana

(ID 27). Esta delimitación permite restringir el proceso de clasificación a las áreas con información de referencia disponible y con potencial presencia de Infraestructura urbana.

Los píxeles ubicados fuera del área de clasificación definida no fueron considerados durante el proceso de clasificación. Estos se mantuvieron sin clasificación dentro de este procedimiento, debido a que corresponden a áreas consideradas no urbanas o previamente asignadas a otras clases de la leyenda de MapBiomas. De esta manera, el proceso se concentró exclusivamente en las áreas donde existía información de referencia suficiente para diferenciar la Infraestructura urbana de las áreas no urbanas.

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 Infraestructura urbana y áreas no urbanas; considerando únicamente dos posibilidades para cada píxel (24: Presencia de Infraestructura Urbana, 27: Ausencia de Infraestructura Urbana). La clasificación a partir de muestras de entrenamiento sobre los mosaicos Landsat se realizó por medio del algoritmo de clasificación Random Forest (RF) que se configuró con 50 árboles luego de prueba y error (Breiman, 2001).

La clasificación se realizó sobre las regiones de clasificación definidas para el mapa general de la Colección 4.0 con presencia de la clase de Infraestructura urbana según fuentes de referencia conocidas e información de imágenes de alta resolución.

3.5. Posclasificación

Debido a la naturaleza basada en píxeles del método de clasificación y el trabajo sobre una serie temporal extensa, se ejecutó un proceso de posclasificación que incluye la aplicación de filtros temporales y morfológicos (filtro de relleno, espacial y de frecuencia) sobre la discriminación binaria de Infraestructura Urbana 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 5).

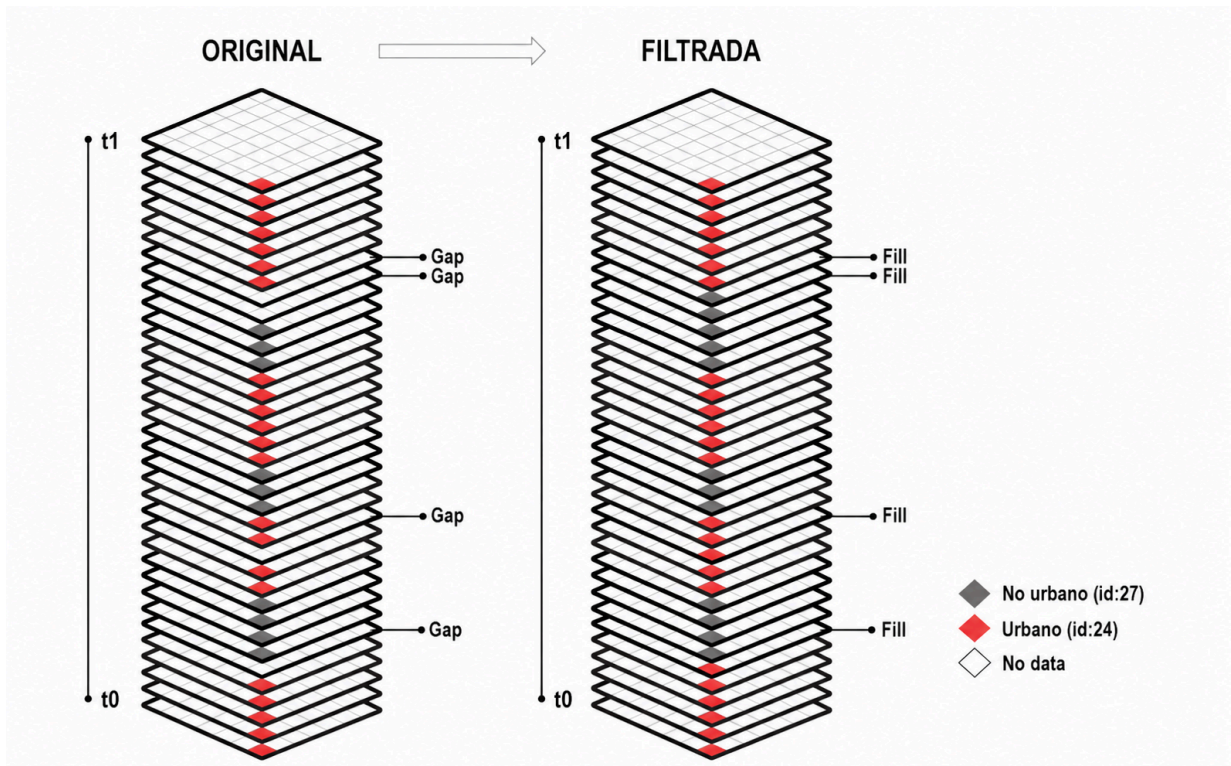


Figura 5. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill, en donde t_0 representa el primer año y t_1 el último año.

3.5.2. Filtro 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.

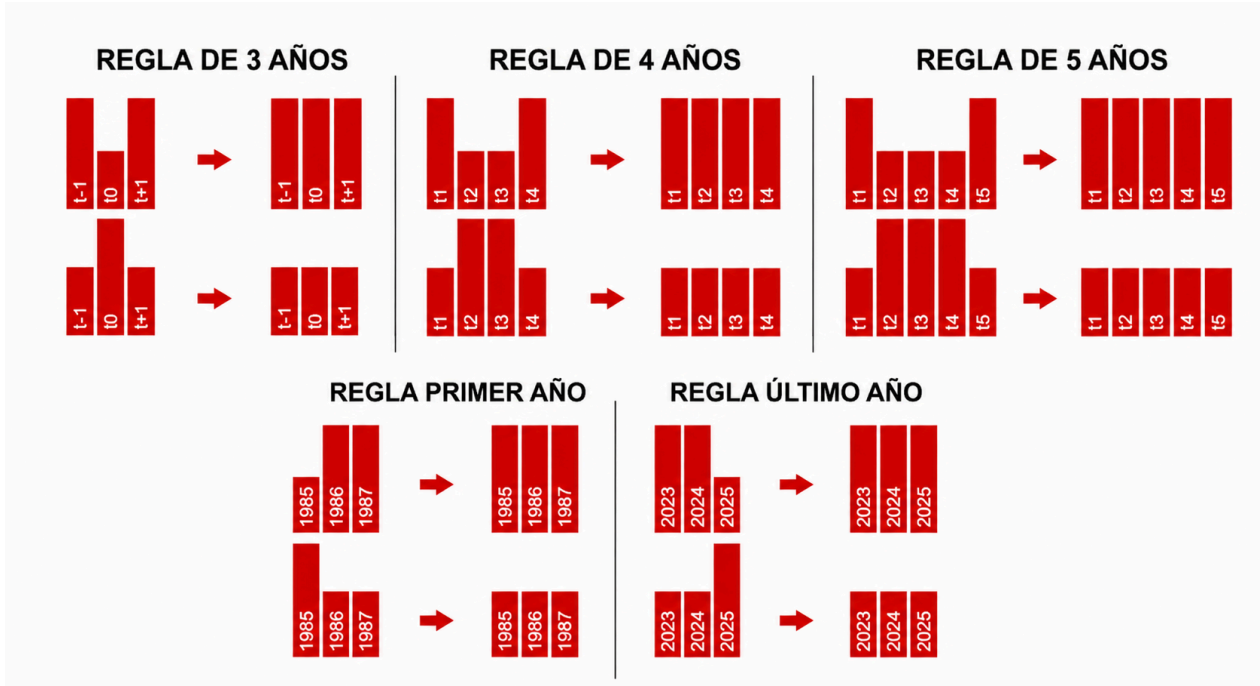


Figura 6. Esquema de funcionalidad de filtro temporal.

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 Infraestructura urbana 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 el aumento consistente de los píxeles urbanos y evitar fluctuaciones anómalas de un año a otro.

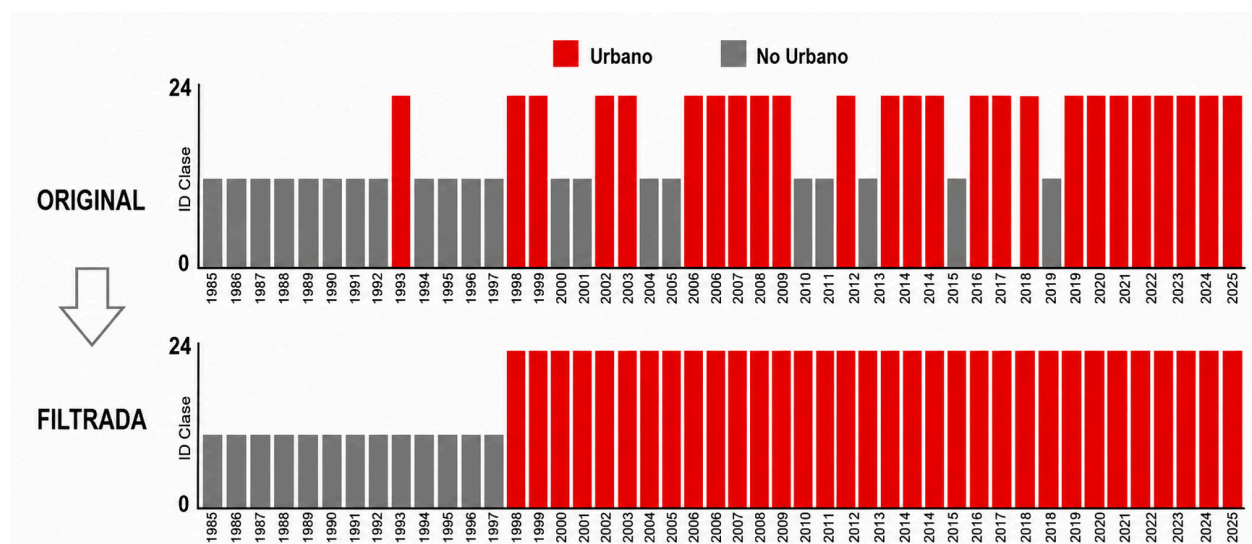


Figura 7. Esquema ejemplo de funcionalidad de filtro frecuencia.

3.5.4. Filtro espacial

El último filtro de la secuencia aplicada en posclasificación 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 MapBiomás 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 0.5 ha, incrementando la consistencia espacial de la clase.

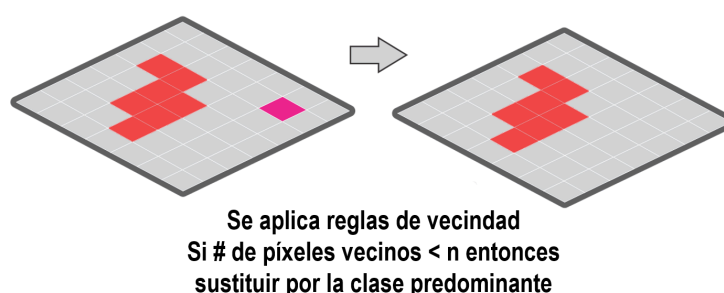


Figura 8. Esquema de funcionalidad de filtro espacial.

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 Infraestructura urbana³.

3.7. Resumen metodológico

Los pasos de clasificación para la generación del transversal de Infraestructura urbana se representan esquemáticamente en el siguiente gráfico. (ver Figura 9).

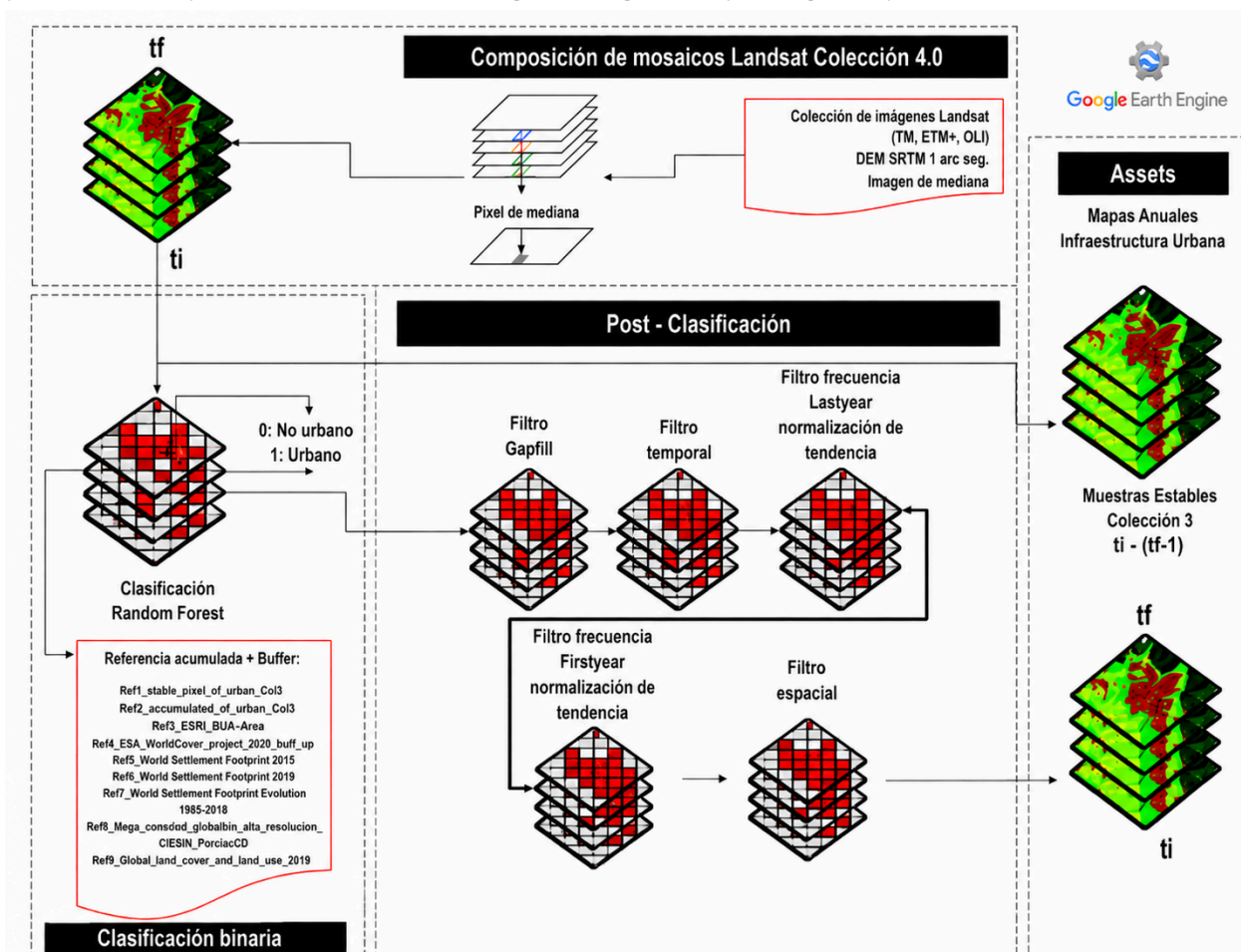


Figura 9. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 4.0, en donde t0 representa el primer año y t1 el último año.

4. Referencias

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

Chen, J., Chen J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S. & Lu, M. (2015). Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operational approach. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 103, 7-27.

³ Para más información, consultar el ATBD General de la Colección 4 de MapBiomass Perú.

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.

Schneider, A., Friedl, M.A., Potere, D. (2010). Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: new methods and datasets based on 'urban ecoregions'. *Remote Sens. Environ.* 114, 1773-1746.

Souza, C., Monteiro, D., Shimbo, J. & Azevedo, T. (2019). Apéndice Infraestrutura Urbana. Versión 1. Recuperado el 2 de Julio de 2021:https://MapBiomass-br-site.s3.amazonaws.com/Infraestrutura_Urbana__Appendix_-_ATBD_Cole%C3%A7%C3%A3o_4_dez_2019.pdf

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