

MAPBIOMAS
ECUADOR

Apéndice - Infraestructura Urbana

Tema transversal

Colección 2.0

Equipo responsable

Cristina Aguilar
Wagner Holguín
Katherine Terán

Desarrollador

Adrián Rodríguez

Noviembre 2024

Índice

1. Introducción	2
2. Construcción y definición de mosaicos Landsat	2
3. Resumen metodológico	4
4. Variables de clasificación	4
5. Clasificación	6
5.1. Información de referencia	6
5.2. Muestras de entrenamiento (urbano/no urbano)	9
5.3. Clasificación con algoritmo Random Forest	10
4 Post-clasificación	10
4.1 Filtro Gap fill	10
4.2 Filtro temporal	11
4.3 Filtro de frecuencia ajustado	12
4.4 Filtro espacial	13
6 Referencias	16

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Feature space: Variables para la detección de superficies de Infraestructura Urbana con el reductor asociado.</i>	5
<i>Tabla 2. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 4.0.</i>	6
<i>Tabla 3. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomias Ecuador</i>	7
<i>Tabla 4. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana.</i>	8
<i>Tabla 5. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en la Cuenca Amazónica.</i>	8
<i>Tabla 6. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en las regiones de la Cuenca Pacífico.</i>	9
<i>Tabla 7. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en los periodos definidos para cada región de la Cuenca Pacífico.</i>	10

Índice de figuras

<i>Figura 1: Distribución de la cuadrícula de las Cartas Internacionales del Mundo a la Millonésima para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: EcoCiencia</i>	4
<i>Figura 2: Distribución de los PathRow para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: EcoCiencia</i>	4
<i>Figura 3. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 2.0. Elaboración: EcoCiencia</i>	5
<i>Figura 4. Muestras de entrenamiento de Urbano y No-Urbano. Elaboración: EcoCiencia</i>	10
<i>Figura 5: Esquema de la funcionalidad de Filtro Gap Fill. Elaboración: MapBiomias</i>	12
<i>Figura 6: Efecto del filtro temporal. Elaboración: MapBiomias</i>	13
<i>Figura 7: Esquema de la funcionalidad del filtro de frecuencia. Elaboración: MapBiomias</i>	13
<i>Figura 8: Esquema de la funcionalidad del filtro espacial. Elaboración: MapBiomias</i>	14
<i>Figura 9. Clasificación multitemporal Infraestructura Urbana Colección 2.0 - 1985 a 2022 (caso Quito - Ecuador).</i>	15
<i>Figura 10: Mapa de infraestructura urbana 2023. Elaboración: EcoCiencia</i>	16

1. Introducción

La colección de mapas versión 2.0 de MapBiomias Ecuador incorpora la primera versión del mapeo de infraestructura urbana como capa binaria de tipo transversal en la superficie que cubre todo el territorio de Ecuador en el periodo comprendido entre los años de 1985 y 2023. Esta clase de cobertura está constituida por áreas de asentamientos humanos asociadas a grandes y pequeños centros urbanos (pueblos) con infraestructura de entorno construido como redes viales, ferroviarias y terrenos asociados, además de otras zonas artificializadas como obras de explotación de hidrocarburos, hidroeléctricas, bases militares, aeropuertos, zonas portuarias y pistas de aterrizaje no convencionales en zonas rurales. También se consideran áreas periféricas que están siendo incluidas en un proceso gradual de urbanización hacia fines residenciales y/o zonas industriales.

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, la mayoría de 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 Ecuador 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 39 años.

2. Construcción y definición de mosaicos Landsat

El primer paso en la generación de mapas de cobertura y uso es la construcción de mosaicos anuales formados a partir de imágenes satelitales capturadas por el proyecto Landsat, para lo cual la iniciativa MapBiomias Ecuador empleó dos métodos:

1. Para el área dentro del límite RAISG: los mosaicos fueron procesados a partir de una grilla uniforme basada en la Carta Internacional del Mapa Mundial al Millón (escala 1:250.000), donde el área de las mismas cubre un total de 1°30' de longitud por 1° de latitud (Ver fig. 1).

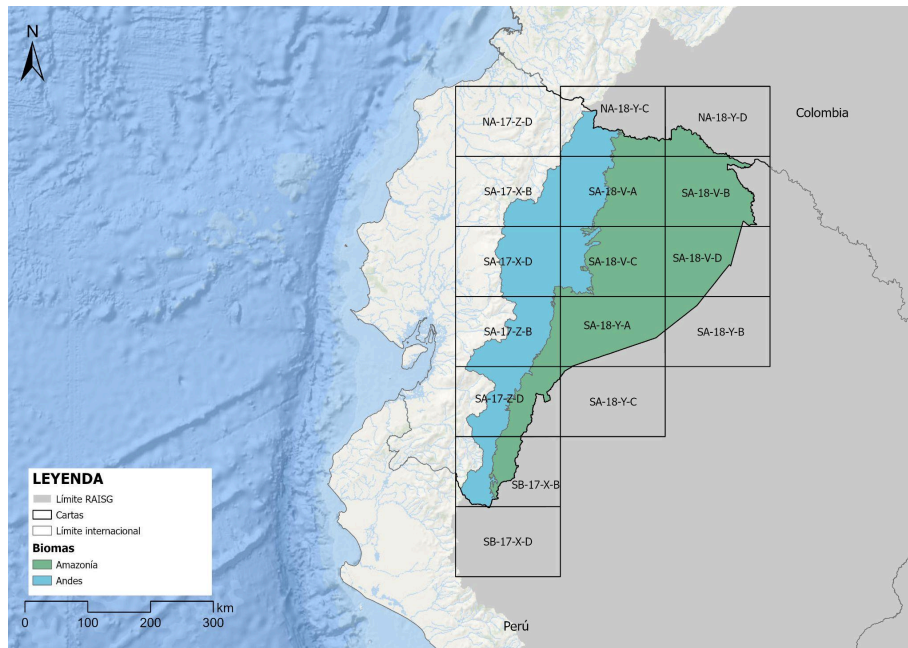


Figura 1: Distribución de la cuadrícula de las Cartas Internacionales del Mundo a la Millonésima para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia

- Para el área fuera del límite RAISG: la unidad de referencia para el proceso de construcción de los mosaicos fue la cuadrícula de path y row. Todo el territorio ecuatoriano, tanto continental como insular, se encuentra cubierto por 17 path y row.

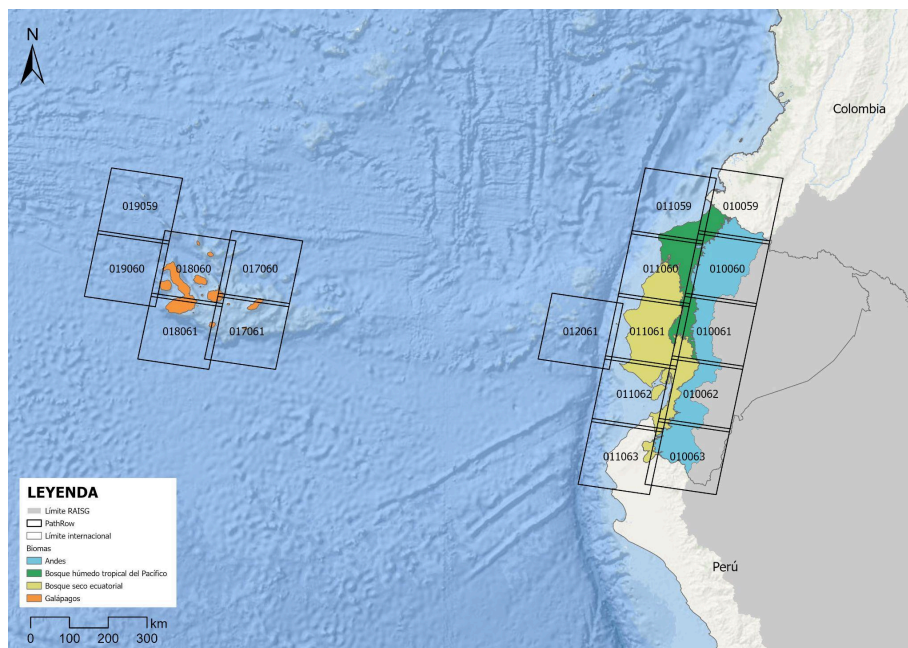


Figura 2: Distribución de los PathRow para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia

En cada una de cartas y pathrows, se construyen los mosaicos anuales de imágenes Landsat. Esto con el objetivo de generar imágenes periódicas sin nubes que permitan su clasificación e identificación de cambios. Para mayor detalle revisar la sección 4 del documento: Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD) de Ecuador - Colección 2.0.

3. Resumen metodológico

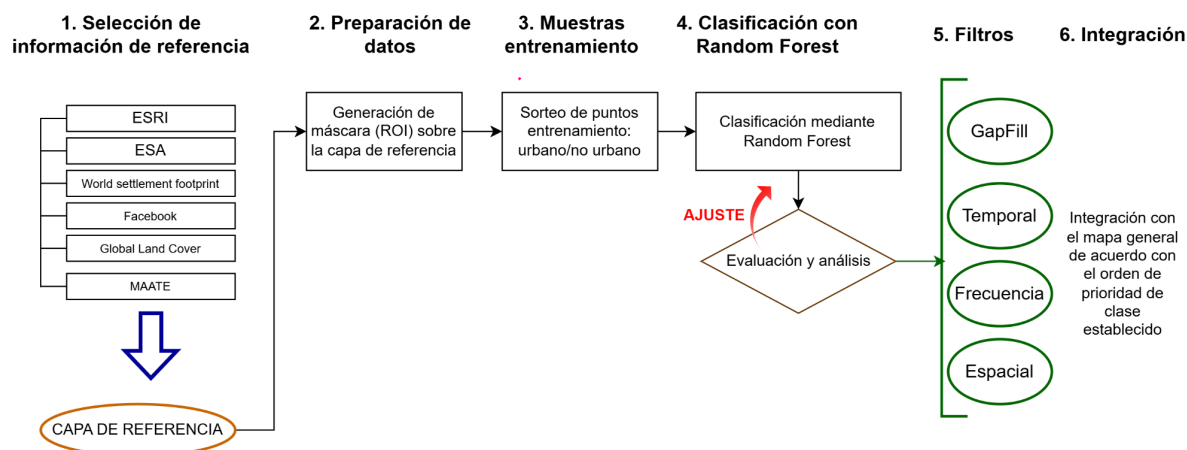


Figura 3. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 2.0. Elaboración: EcoCiencia

4. Variables de clasificación

El siguiente paso consistió en calcular los índices y fracciones espectrales para cada observación satelital (feature space) 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 segmentación de clases que espectralmente son muy similares pero se pueden lograr discriminar por las condiciones topográficas.

Tabla 1. Feature space: Variables para la detección de superficies de Infraestructura Urbana con el reductor asociado.

Variable	Description	Reductor
blue	Landsat BLUE band	Median
green	Landsat GREEN band	Median
red	Landsat RED band	Median
nir	Landsat NIR band	Median
swir1		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

Finalmente, se creó un mosaico representativo para cada año constituido por 151 bandas en total fundamentados en el cálculo de reductores estadísticos para generar los valores de cada píxel. Estos reductores corresponden a:

Tabla 2. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 4.0.

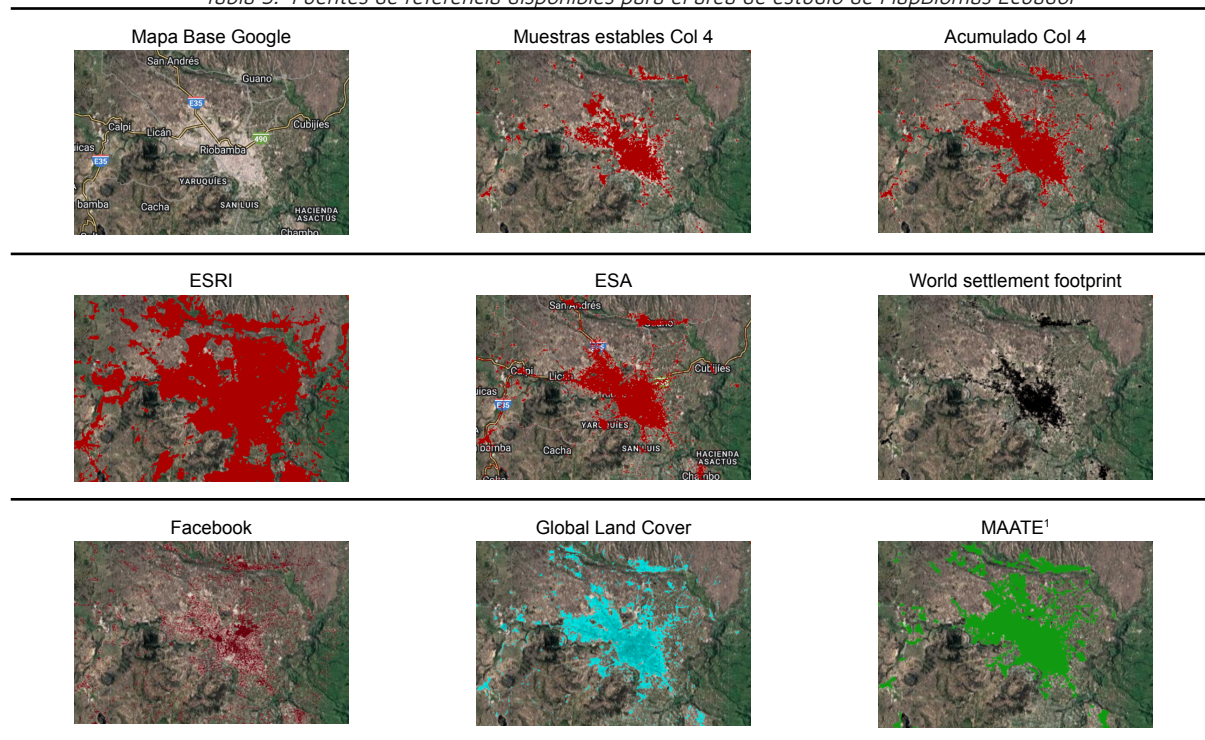
Reductor	Descripción
Mediana	Mediana de todos los valores disponibles en el mosaico anual para esa ubicación (píxel).
Mediana época seca	Cálculo de la mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 25 (con los menores valores) de NDVI (proxy de época seca).
Mediana época húmeda	Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).
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.

5. Clasificación

5.1. Información de referencia

Para Ecuador, en el algoritmo de Random Forest se utilizaron trece fuentes de referencia (ver. Tabla 3), recopiladas desde proyectos con información geográfica que dispone de datos mundiales y nacionales en diferentes temporalidades incluyendo además, el acumulado y muestras estables de la Colección 4.0 de MapBiomás Amazonía a partir de la información anual desde 1985 a 2021. 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.

Tabla 3. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomás Ecuador



¹ La referencia utilizada del MAATE (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica) corresponde al Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022. De este se extrajo únicamente la información relacionada a "zona antrópica", que es desagregada en área poblada (áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos) e infraestructura (Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.)

Tabla 4. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana.

Referencia	MapBiomias	Global	Nacional
Ref1_stable_pixel_of_urban_Col4	●		
Ref2_accumulated_of_urban_Col4	●		
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_CIE SIN_Facebook		●	
Ref9_Global_land_cover_and_land_use_2019		●	
Ref10_MAATE_90 (1990)			●
Ref11_MAATE_00 (2000)			●
Ref12_MAATE_08 (2008)			●
Ref13_MAATE_14-22 (2014, 2016, 2018, 2020 y 2022)			●

Se analizaron cada una de las referencias para determinar cuál era la más adecuada para aplicar en cada región de la clasificación.

- Cuenca Amazónica

La cuenca Amazónica fue dividida en 5 regiones. A continuación, se detalla qué referencias se utilizaron en la región.

Tabla 5. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en la Cuenca Amazónica.

	REGIONES DE INFRAESTRUCTURA CUENCA AMAZÓNICA				
	40101	40102	40201	40202	40601
Ref1_stable_pixel_of_urban_Col4		●			
Ref2_accumulated_of_urban_Col4	●		●	●	●
Ref4_ESA_WorldCover_project_2020_Built_up	●	●	●	●	●
Ref6_World Settlement Footprint 2019	●	●	●	●	●
Ref7_World Settlement Footprint Evolution 1985-2015		●	●		●

- Cuenca Pacífico

La cuenca del Pacífico se dividió en 13 regiones. A diferencia de la Amazonía, en esta cuenca predominan áreas que, ya sea por condiciones naturales o por influencia de actividades antrópicas, presentan baja densidad de cobertura vegetal. Esto generaba confusión en la diferenciación entre infraestructura y otras clases de cobertura y uso del suelo. Por tal motivo, se implementó un enfoque basado en la selección de referencias por periodo, con el fin de mitigar posibles sobreestimaciones en la interpretación de los datos. A continuación, se detalla qué referencias se utilizaron por región y por periodo.

Tabla 6. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en las regiones de la Cuenca Pacífico.

	REGIONES DE INFRAESTRUCTURA CUENCA PACÍFICO												
	40907	40905	40908	40901	40902	40903	40904	40906	40603	40604	40605	40606	40607
Ref7_World Settlement Footprint Evolution 1985-2015	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ref10_MAATE_90	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ref11_MAATE_00	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ref12_MAATE_08	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ref13_MAATE_14-22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tabla 7. Información que Ecuador emplea como referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana en los periodos definidos para cada región de la Cuenca Pacífico.

	Ref7_World Settlement Footprint Evolution 1985-2015	Ref10_MAATE_90	Ref11_MAATE_00	Ref12_MAATE_08	Ref13_MAATE_14-22
1985 - 1990	●	●			
1991 - 2000	●		●		
2001 - 2008	●			●	
2009 - 2023	●				●

5.2. Muestras de entrenamiento (urbano/no urbano)

Las muestras de entrenamiento se sortearon aleatoriamente dentro de las referencias (ver tabla), para ello se definió la cantidad de puntos a sortear para cada clase. Se sortearon dos tipos de puntos: Urbano (ID 24), que contiene estrictamente píxeles que hacen parte de áreas de infraestructura urbana y No Urbano (ID 27) o aquellas áreas que no corresponden a áreas de infraestructura urbana, es decir, abarca todas las demás clases diferentes a infraestructura urbana (ver fig. XX).

Según la región, se estableció el número de referencias a utilizar. De las 13 referencias disponibles, se determinó cuántas serían empleadas. Un punto se considera válido como muestra de entrenamiento únicamente cuando todas las referencias seleccionadas coinciden en clasificar como urbano o no urbano.

Las muestras de entrenamiento se utilizan para generar la clasificación de los píxeles con áreas urbanas y no urbanas. El área fuera de la zona delimitada como región de interés (referencias) no es clasificado dentro de este tema transversal.

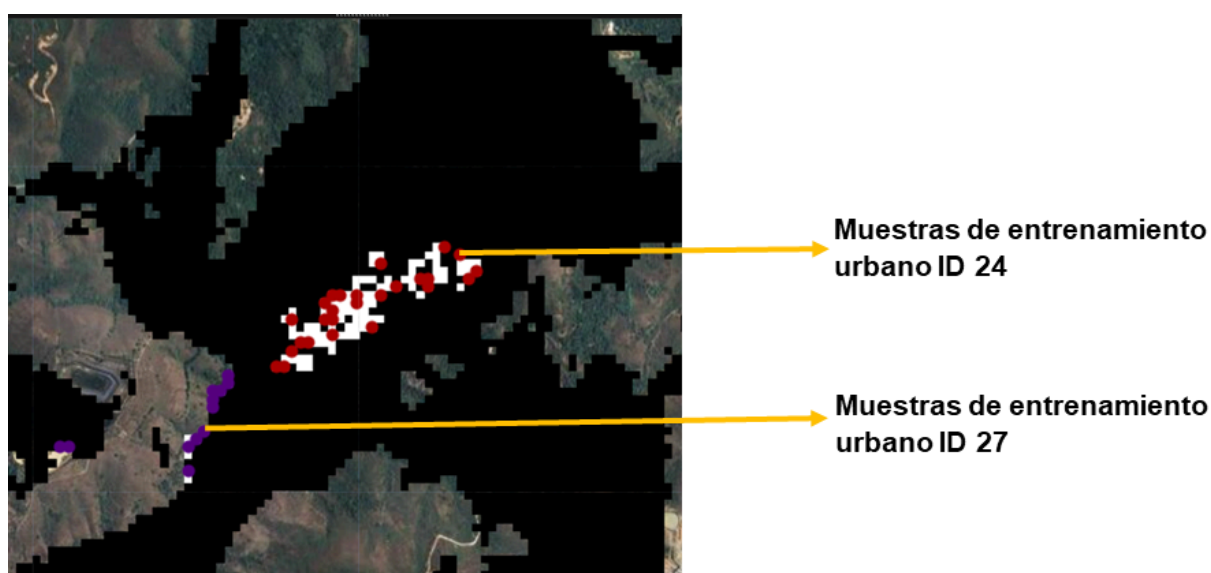


Figura 4. Muestras de entrenamiento de Urbano y No-Urbano. Elaboración: EcoCiencia

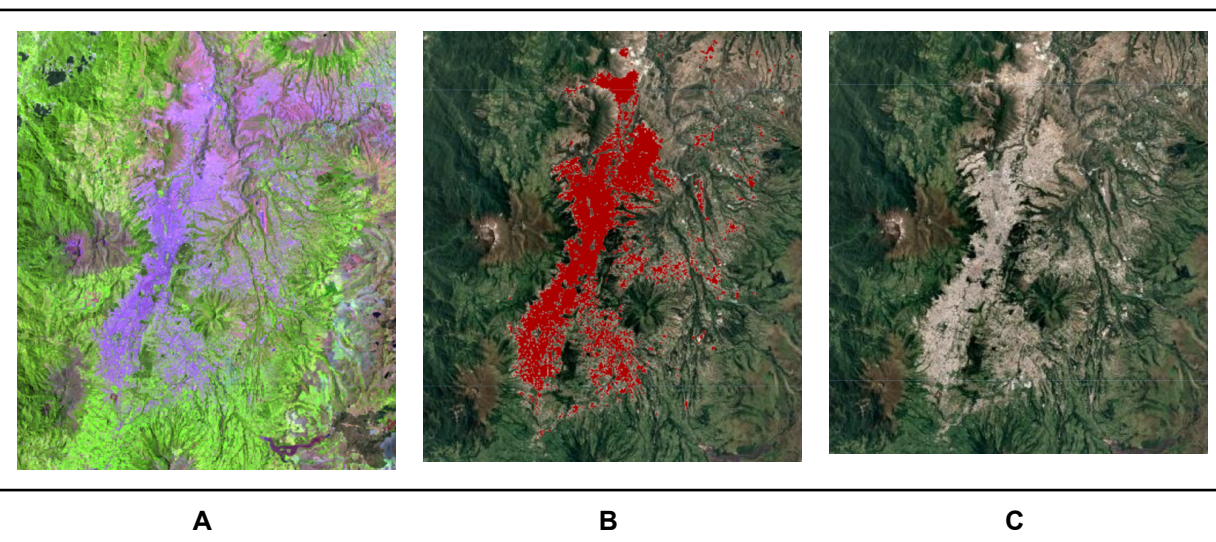
5.3. Clasificación con algoritmo Random Forest

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 (1: Presencia de Infraestructura Urbana, 2: 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) (Breiman, 2001).

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 los índices empleados y el apoyo sustentado en mapas de referencia disponibles a nivel regional como OpenStreetMap e información de referencia nacional y mundial.

La clasificación se realizó sobre las 13 regiones de clasificación para el transversal de la Colección 2.0 con presencia de la clase de infraestructura urbana según fuentes de referencia conocidas e información de imágenes de alta resolución.

Tabla 8. Detección Infraestructura Urbana Colección 2.0 (A) - Mosaico Landsat 2023 (RGB 654), (B) - Clasificación superficie urbana 2023, (C) - Imágen de alta resolución Google Earth. (Quito - Ecuador).



4 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 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.

4.1 Filtro Gap fill

La secuencia de filtros para el tema transversal de infraestructura urbana comienza con el relleno de vacíos de información - *Gap fill* considerando que la extensión que compromete MapBiomás Ecuador y las superficies urbanas a su vez experimentan condiciones atmosféricas y

climáticas que resultan en mosaicos anuales con algunos píxeles sin información o ausencia de datos observados por el satélite (“gaps”). Este filtro tiene la capacidad de reducir estos vacíos residuales reemplazando el valor temporalmente más cercano. Cuando un píxel “futuro” carece de valor (sin datos), el filtro de Gap fill le asigna el valor del año más próximo al mismo. Este filtro hace una revisión de la serie donde primero llena vacíos haciendo un barrido de “atrás hacia adelante”, donde los vacíos son llenados con datos de los años próximos que anteceden al año sin datos. De haber vacíos remanentes, estos son llenados con datos del año más próximo precedente. Para cada píxel cuyo valor ha sido completado empleando este filtro, el cambio se registra en un archivo de metadata el cual registra la historia del píxel. Se pueden utilizar varios años para cubrir vacíos. Por lo tanto, las brechas de información solo persisten si un píxel dado se ha clasificado permanentemente como sin información en toda la serie temporal.

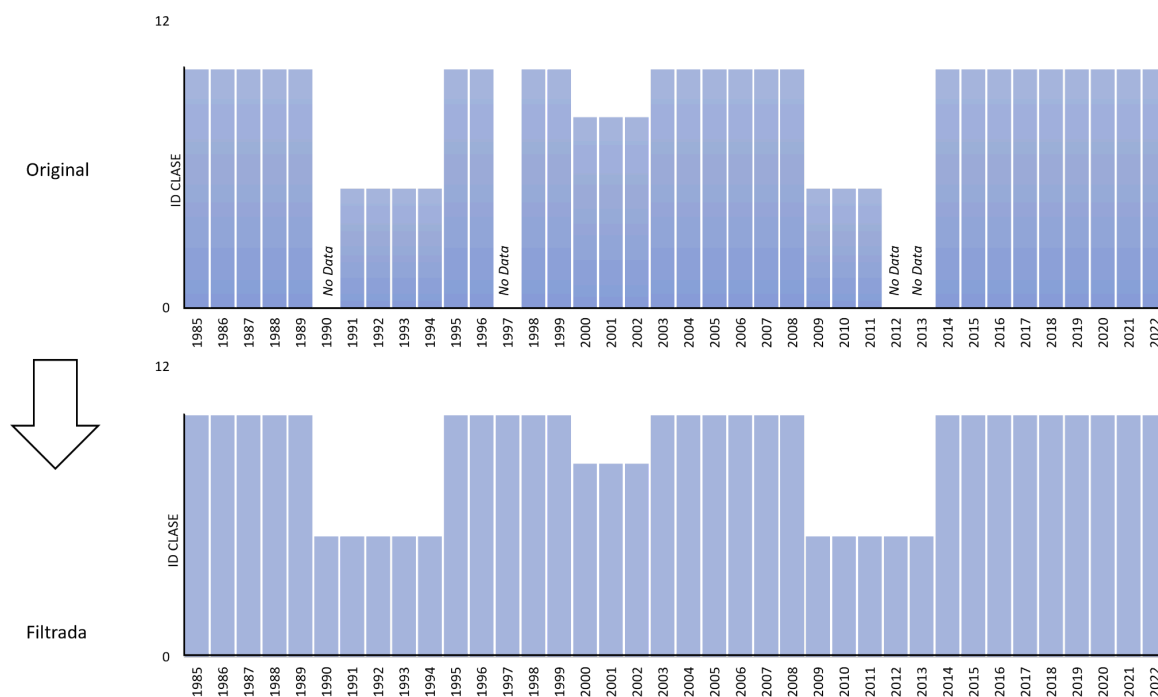


Figura 5: Esquema de la funcionalidad de Filtro Gap Fill. Elaboración: MapBiomias

4.2 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 2021.

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 2022.

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

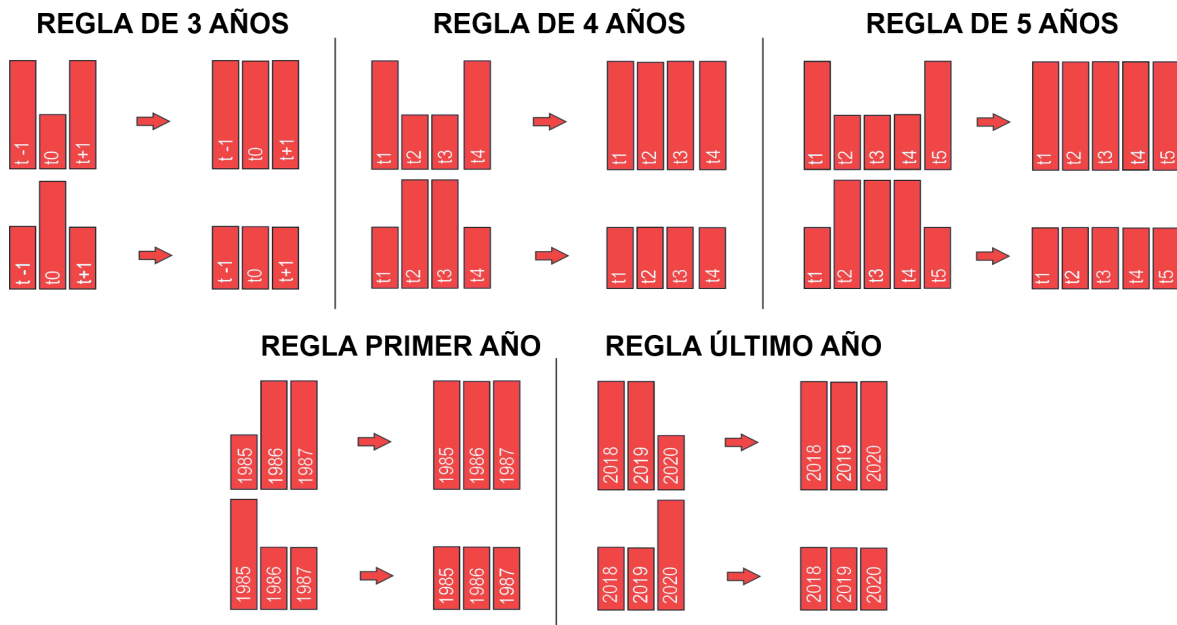


Figura 6: Efecto del filtro temporal. Elaboración: MapBiomias

4.3 Filtro de frecuencia ajustado

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 una año a otro.

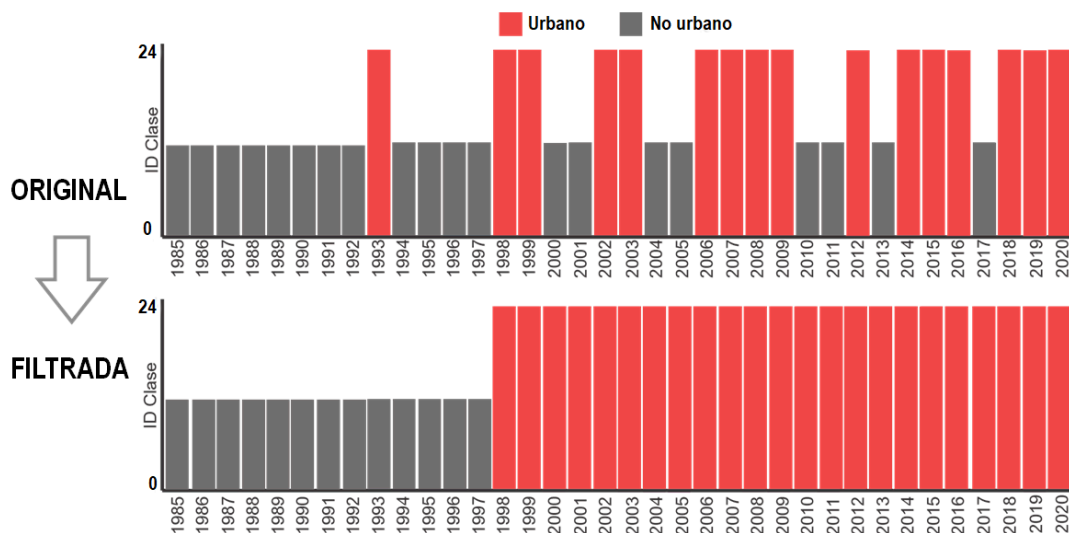


Figura 7: Esquema de la funcionalidad del filtro de frecuencia. Elaboración: MapBiomias

4.4 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 MapBiomás Amazonía, la unidad mínima de mapeo fue definida como 0.5 ha (aproximadamente 5 píxeles). Consecuentemente, se requirió que por lo menos cinco 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.

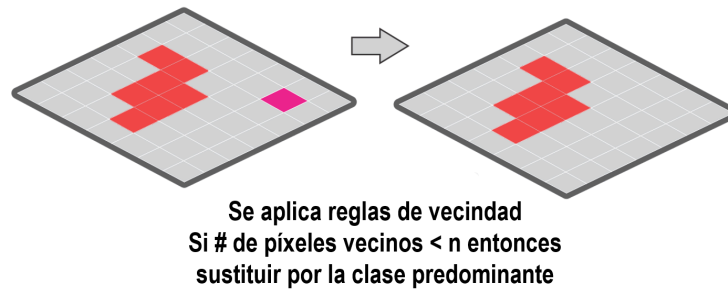


Figura 8: Esquema de la funcionalidad del filtro espacial. Elaboración: MapBiomás

Mapbiomas Ecuador Colección 2 - Infraestructura urbana

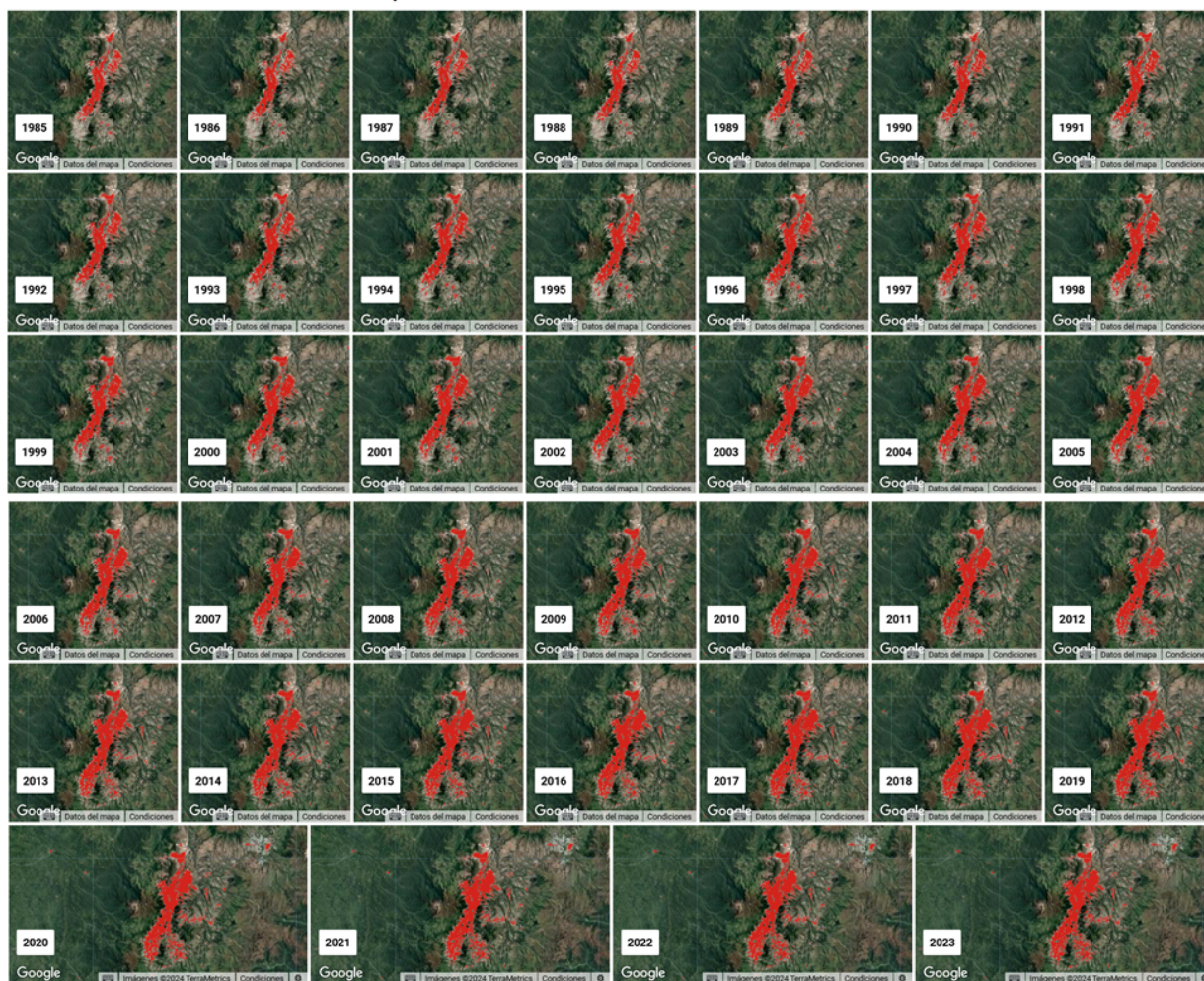


Figura 9. Clasificación multitemporal Infraestructura Urbana Colección 2.0 - 1985 a 2022 (caso Quito - Ecuador).

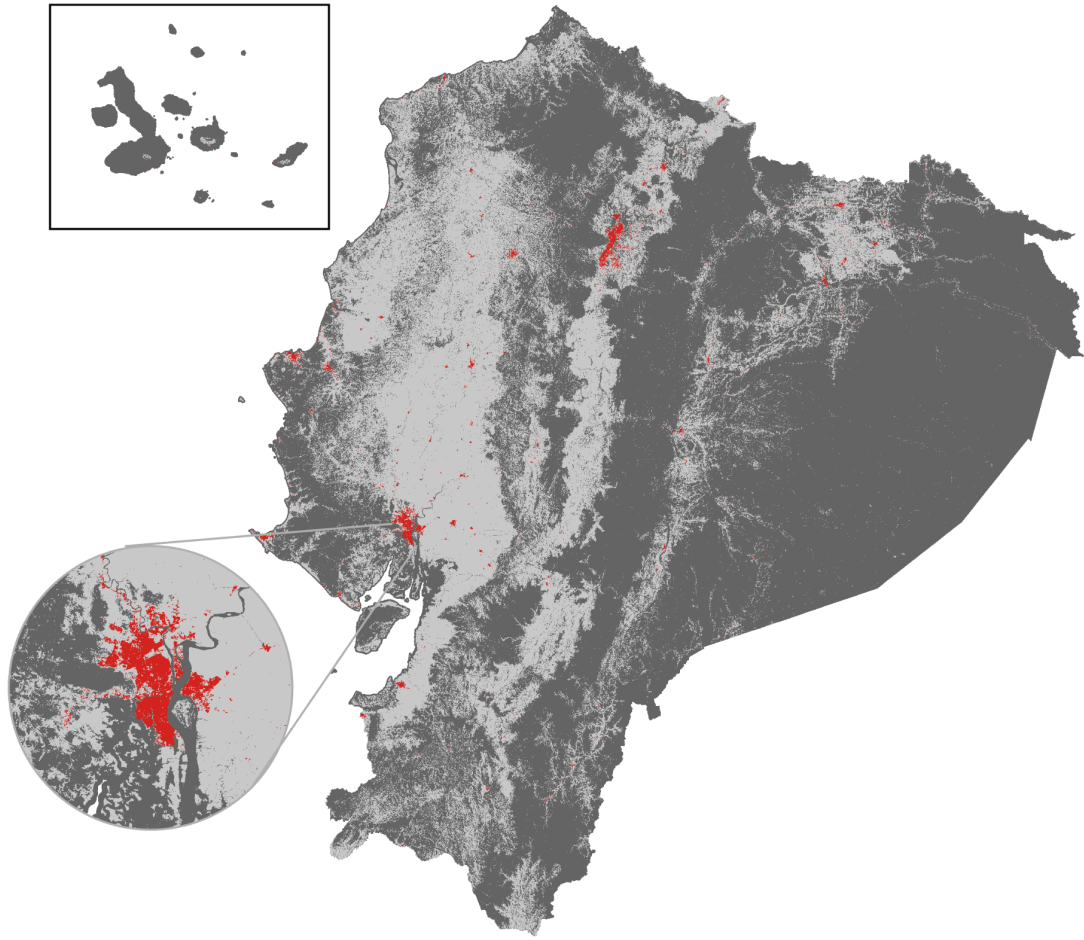


Figura 10: Mapa de infraestructura urbana 2023. Elaboración: EcoCiencia

6 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.
- 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.
- Olofsson, P.; Foody, G.M.; Herold, M.; Stehman, S.V.; Woodcock, C.E.; Wulder, M.A. (2014) Good Practices for Estimating Area and Assessing Accuracy of Land Change. *Remote Sens. Environ.* 148, 42-57, doi:10.1016/j.rse.2014.02.015.
- 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://mapbiomas-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.