



MAP BIOMAS
BOLIVIA

Apéndice - Infraestructura Urbana

Tema transversal en Colección 3

Versión 1

Julio 2025

Equipo de especialistas
Kevin Centellas
Sara Espinoza

Especialistas en programación para teledetección
Rodney Camargo & Marcelo Char

Responsable del componente técnico
Sara Espinoza
Coordinador del proyecto MapBiomás Bolivia
Saúl Cuéllar
Gestión proyectos
Marlene Quintanilla
Institución
Fundación Amigos de la Naturaleza



Km. 7 1/2 Doble Vía a La Guardia
Santa Cruz - Bolivia
Teléfono: (591-3) 3556800
www.fan-bo.org

Cómo citar:
Documento de Base Teórica sobre Algoritmos (ATBD) - Apéndice -
Infraestructura Urbana - MapBiomás Bolivia Colección 3

Índice

1 Introducción	4
2 Mosaicos de imágenes satelitales	6
2.1 Composición de mosaicos	6
2.2 Selección de variables de clasificación	7
3 Clasificación	9
3.1 Definición de la clase Infraestructura Urbana (ID: 24)	10
3.2 Algoritmos de clasificación	12
3.3 Información de referencia	12
4 Post-clasificación	15
4.1 Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill	15
4.2 Filtro temporal	16
4.3 Filtro de frecuencia ajustado	17
4.4 Filtro espacial	17
5. Resultados	18
5.1. Area metropolitana del departamento de La Paz	20
5.2. Area metropolitana del departamento de Cochabamba	21
5.3. Area metropolitana del departamento de Santa Cruz	23
6 Referencias	25

Índice de tablas

Tabla 1. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 3	6
Tabla 2. Feature space: Variables para la detección de superficies de Infraestructura Urbana con el reductor asociado	8
Tabla 3. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 3.0	9
Tabla 4. Definición detallada de Infraestructura Urbana Colección 3.	11
Tabla 5. Información empleada como referencia global en el proceso de clasificación de infraestructura urbana	14
Tabla 6. Información empleada como referencia nacional en el proceso de clasificación de infraestructura urbana	14

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio para la detección de la cobertura de Infraestructura Urbana en la Colección 3 de MapBiomias Bolivia.....	5
Figura 2. Método de generación de mosaicos anuales Colección 3 MapBiomias Bolivia.....	7
Figura 3. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 3.	10
Figura 4. Detección Infraestructura Urbana Colección 3. (A) - Mosaico Landsat, (B) - Clasificación superficie urbana ID:24, (C) - Imágen de alta resolución Google Earth. (Santa Cruz de la Sierra - Bolivia).....	11
Figura 5. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomias Bolivia. Acumulado total (1985 - 2024)	13
Figura 6.Filtro gapfill.....	15
Figura 7.Filtro temporal.	16
Figura 8.Filtro de frecuencia.....	17
Figura 9.Filtro espacial.	18
Figura 10.Clasificacion multitemporal Infraestructura Urbana Colección 3 - 1985 a 2024 (Santa Cruz de la Sierra - Bolivia).	18
Figura 11. Superficie de clase infraestructura urbana agrupada cada 5 años desde 1985 hasta 2024.	19
Figura 12. Superficie acumulada de la clase infraestructura urbana por departamento.	19
Figura 13. Distribución de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de La Paz.	20
Figura 14. Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de La Paz.....	21
Figura 15.Distribucion de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Cochabamba.....	22
Figura 16. Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Cochabamba.	23
Figura 17.Distribucion de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Santa Cruz.	24
Figura 18.Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Santa Cruz.....	25

1 Introducción

La colección de mapas versión 3 de MapBiomias Bolivia incorpora el mapeo de infraestructura urbana como capa binaria de tipo transversal en el territorio boliviano. 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 boliviano.

El crecimiento expansivo ha generado la creación de amplias aglomeraciones y conurbaciones urbanas y de formas locales de crecimiento de baja densidad. La ciudad tradicional, compacta, integradora de funciones y relaciones y con unos límites precisos, presentaba unas características socioeconómicas que en la actualidad están desapareciendo, en parte debido a los importantes cambios macroeconómicos que se desarrollan a escala global y en parte, a los procesos de expansión urbana que afectan con distinta intensidad a la mayoría de las ciudades.

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 Bolivia 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).

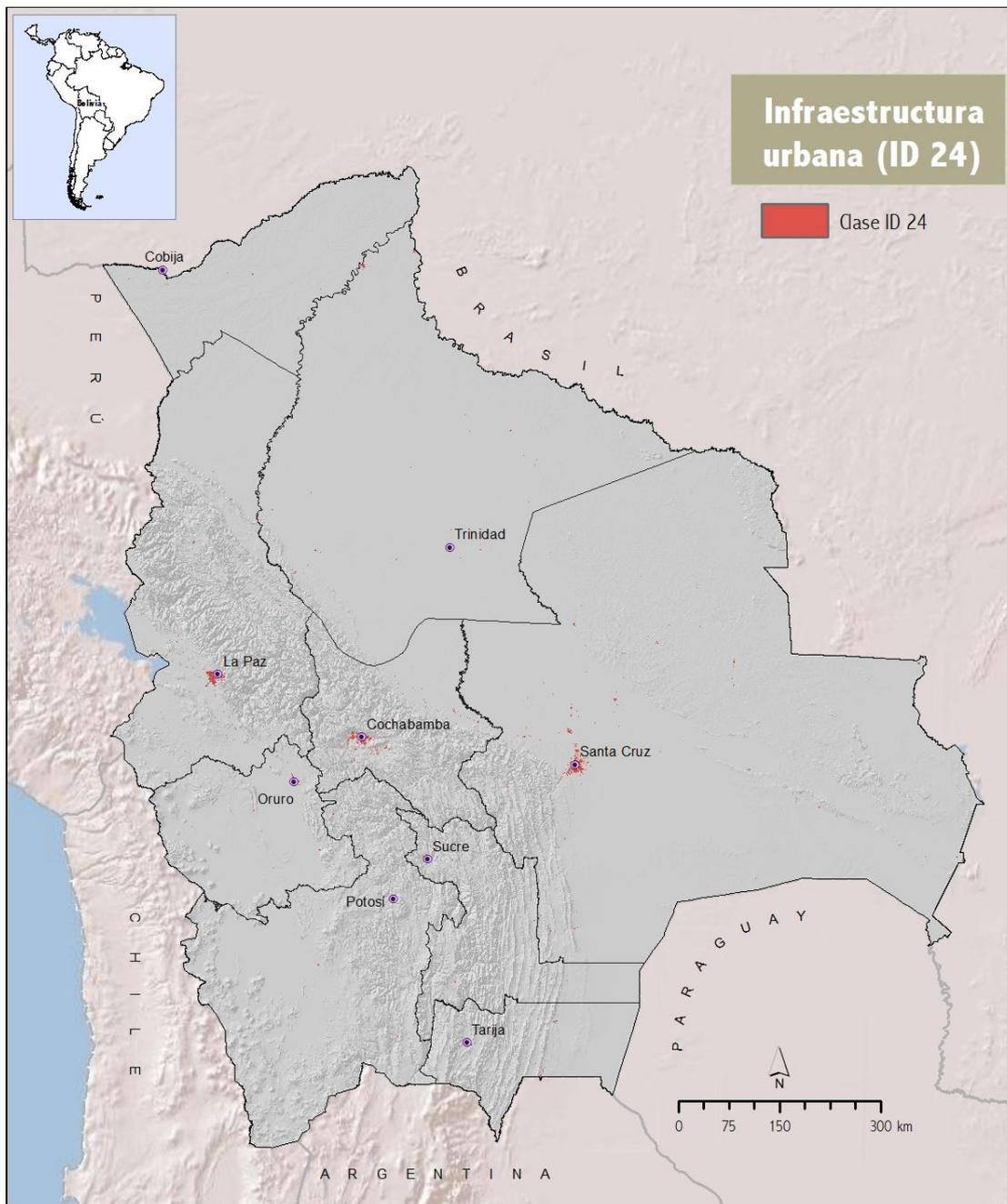


Figura 1. Área de estudio para la detección de la cobertura de Infraestructura Urbana en la Colección 3 de MapBiomas Bolivia.

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 MapBiomás Bolivia 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 40 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 Mosaicos de imágenes satelitales.

2.1 Composición de mosaicos

La composición de mosaicos para la clasificación transversal de “Infraestructura Urbana” utilizó los mosaicos de imágenes generados previamente para la clasificación general de coberturas de la tierra de la Colección 3 de MapBiomás Bolivia. Se realizó la composición a través de imágenes satelitales de reflectancia de superficie con corrección atmosférica del sensor Landsat 4, 5, 7, 8 y 9 Colección 2 que cubren el territorio boliviano y que son generados anualmente en una serie temporal de 40 años comprendidos desde 1985 hasta 2024¹. La Tabla 1 indica las 1 colecciones de imágenes alojadas en los repositorios de Google Earth Engine.

Tabla 1. Colecciones de datos Landsat utilizadas en la Colección 3

Sensor	ID Colección en GEE
Landsat 4 TM	LANDSAT/LT04/CO2/T1_SR
Landsat 5 TM	LANDSAT/LT05/CO2/T1_SR
Landsat 7 TM+	LANDSAT/LE07/CO2/T1_SR
Landsat 8 OLI / TIRS	LANDSAT/LC08/CO2/T1_SR
Landsat 9	LANDSAT/LC09/CO2/T1_L2

En la Figura 2 se describe la metodología general para la producción de mosaicos, primero se realizó la composición de imágenes según la disponibilidad de las colecciones de imágenes Landsat año a año desde 1985 hasta 2024 desde los repositorios de Google Earth Engine. La composición de imágenes utilizó la grilla de

¹ La composición de mosaicos se generó a partir del reductor de píxel de mediana con una resolución espacial de 30 metros

cartas millonésimas mundiales en donde se desarrolló la parametrización idónea para producir cada mosaico según criterios asociados a la temporalidad para cada país (fecha inicial y fecha final), sensor, cobertura de nubes y escenas de exclusión que interfieren con la calidad de la imagen de mediana.

Adicionalmente se utilizó la capa de referencia disponible en Google Earth Engine - DEM STRM (Shuttle Radar Topography Mission - V03).

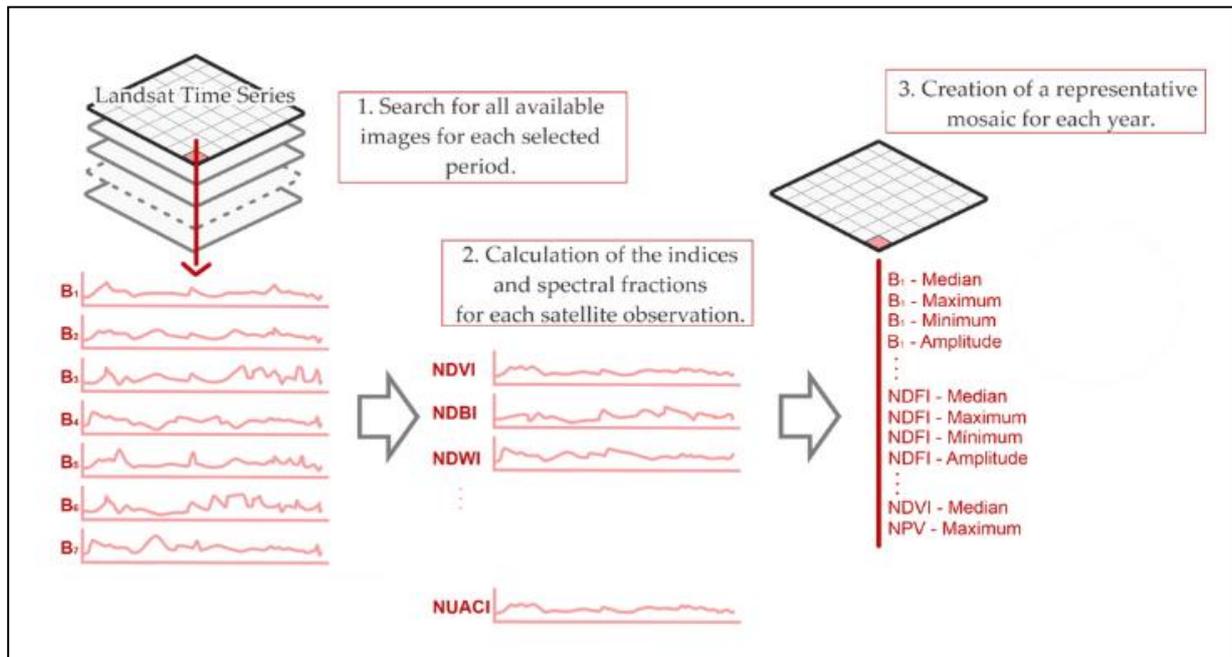


Figura 2. Método de generación de mosaicos anuales Colección 3 MapBiomias Bolivia.

A partir de la parametrización, el preprocesamiento incluyó la aplicación de los algoritmos Cfmask y CloudScore que para Landsat 4, 5 y 7 (mosaicos de 1985 a 2012) empleó dos bandas, **pixel_qa** - Atributos de calidad de píxel generados a partir del algoritmo CFMASK y **sr_atmos_opacity** - Opacidad atmosférica; 0,3 = brumoso. Lo anterior, si se establece que el bit de nube (5) y la confianza de la nube (7) es alta, o si se establece el bit de sombra de nube (3), se considera un píxel incorrecto y por lo tanto se eliminan los píxeles de borde que no ocurren en todas las bandas. Para Landsat 8 y 9 (mosaicos de 2013 a 2024), se utilizó la banda **pixel_qa**, considerando que los bits 3 y 5 son nubes y sombras. Después de la eliminación, se realizó el cálculo de la mediana de la colección de imágenes sin nubes que genera el mosaico anual.

2.2 Selección de 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 clasificación de clases que espectralmente son muy similares, pero se pueden lograr discriminar por las condiciones topográficas.

Tabla 2. Feature space: Variables para la detección de superficies de Infraestructura Urbana con el reductor asociado.

Variable	Descripción	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

Finalmente, se creó un mosaico representativo para cada año constituido por 156 bandas en total² fundamentados en el cálculo de reductores estadísticos para generar los valores de cada 2 píxel. Estos reductores corresponden a:

² Ver detalle completo en la descripción de bandas y variables en la ATBD General de MapBiomias Bolivia Colección 3.

Tabla 3. Reductores estadísticos empleados en la composición de imágenes Infraestructura Urbana Colección 3

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 menores valores) de NDVI (proxy de época seca).
Mediana húmeda	época	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

3 Clasificación

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).

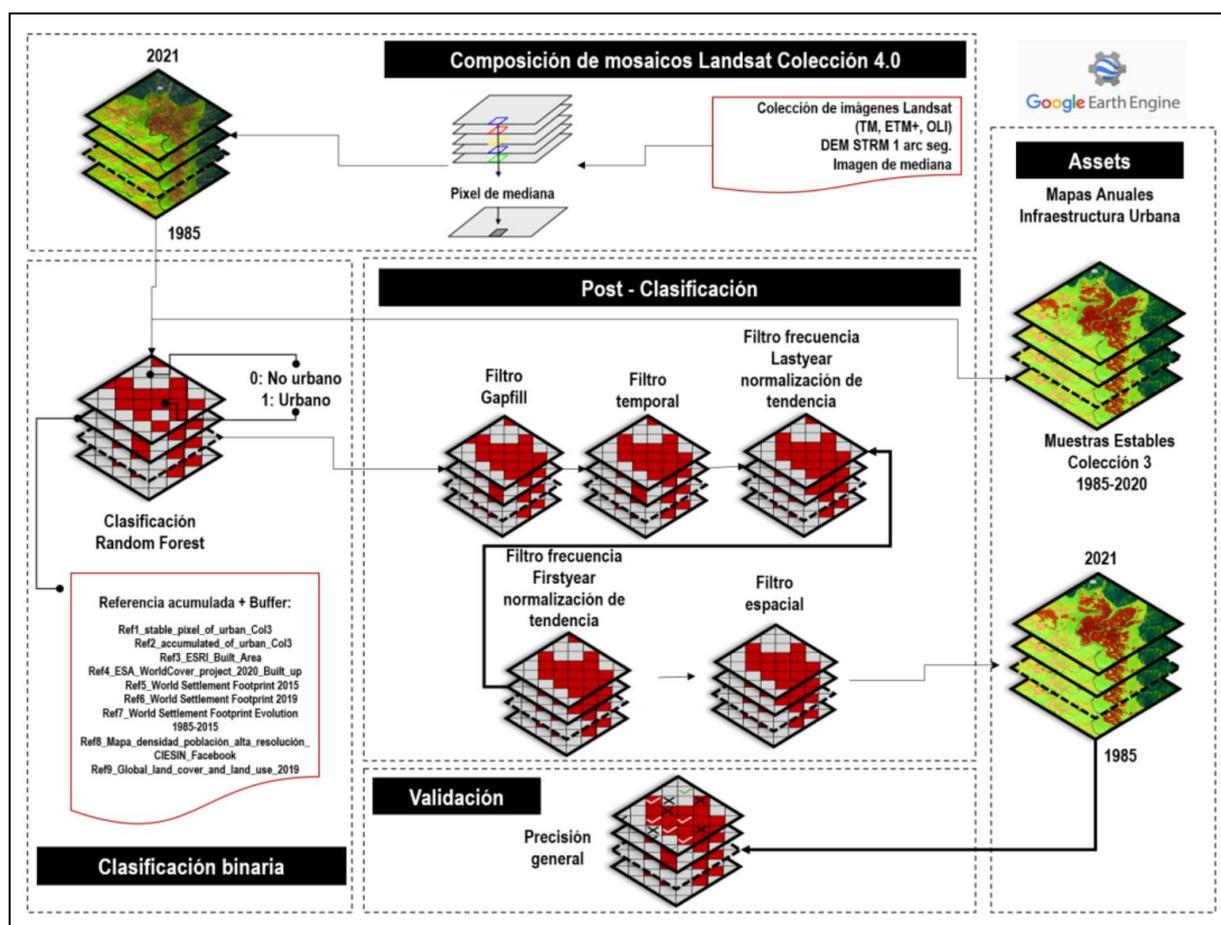


Figura 3. Flujo metodológico de la clasificación de Infraestructura Urbana Colección 3.

La clasificación se realizó sobre las regiones de clasificación definidas para el mapa general de la Colección 3 con presencia de la clase de infraestructura urbana (ID 24), según fuentes de referencia conocidas e información de imágenes de alta resolución.

3.1 Definición de la clase Infraestructura Urbana (ID: 24)

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 suelo³ en transición hacia 3 fines residenciales, zonas industriales, redes viales, bases militares, redes de comunicación, aeropuertos y zonas verdes urbanas artificiales, no agrícolas (Tabla 4).

³ Área mínima de mapeo: mayor o igual a media hectárea (≥ 0.5 ha): aproximadamente 5 píxeles Landsat de 30 m².

Tabla 4. Definición detallada de Infraestructura Urbana Colección 3.

Incluye
Zonas Urbanas
Tejido urbano continuo (Grandes centros poblados)
Tejido urbano discontinuo (Pueblos)
Redes Viales
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
Otras zonas artificializadas
Obras de explotación de hidrocarburos
Hidroeléctricas
Bases militares
Aeropuertos
Zonas portuarias
Otro tipo de obra de escala industrial
Zonas verdes (no agrícolas)
Instalaciones recreativas en centros urbanos
Prados urbanos y separadores viales
Otros
Pistas de aterrizaje no convencionales en zonas rurales

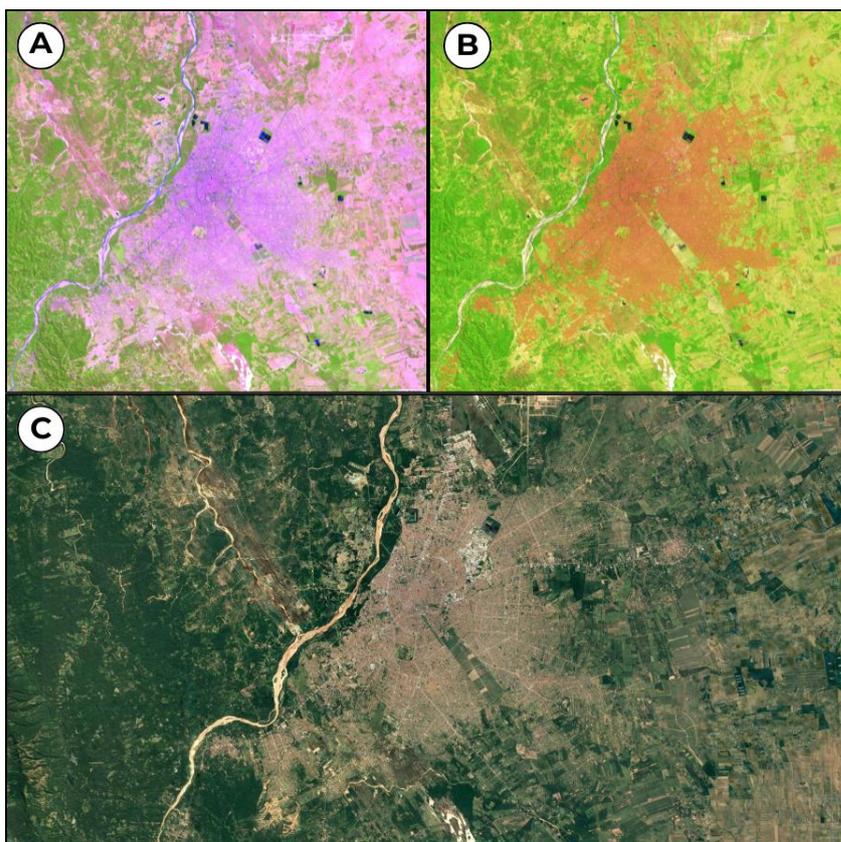


Figura 4. Detección Infraestructura Urbana Colección 3. (A) - Mosaico Landsat, (B) - Clasificación superficie urbana ID:24, (C) - Imágen de alta resolución Google Earth. (Santa Cruz de la Sierra - Bolivia).

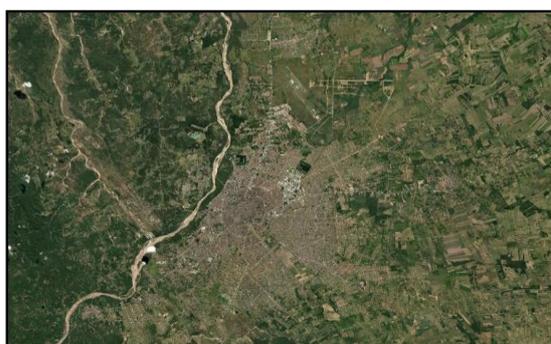
3.2 Algoritmos de clasificación

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

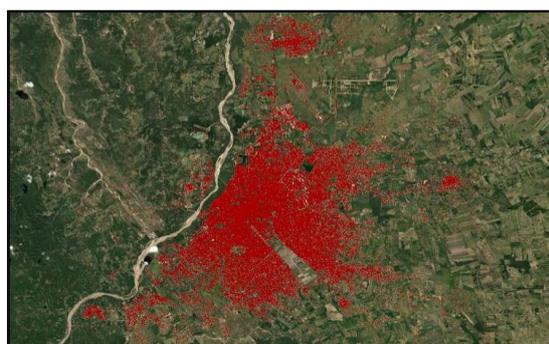
Desde el punto de vista práctico, el índice es un “dato” que ofrece una descripción de un fenómeno más allá de la representación de este. El índice es una medida parcialmente observable de un fenómeno, de tal forma que permite indicar su estado, evolución o tendencia, aun sin medir exactamente el fenómeno estudiado

3.3 Información de referencia

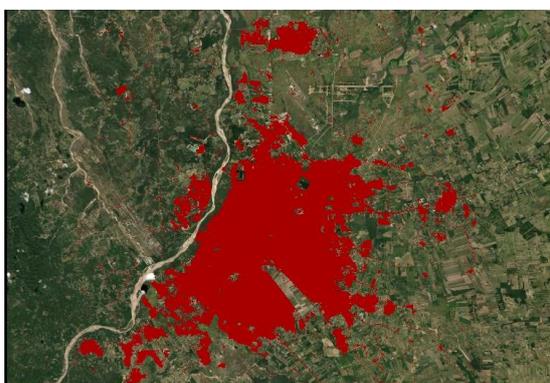
Para todos los países en el algoritmo de Random Forest se utilizaron nueve fuentes de referencia, recopilada desde proyectos con información geográfica que dispone de datos mundiales en diferentes temporalidades incluyendo, además, el acumulado y muestras estables de la Colección 3 de MapBiomás Bolivia a partir de la información anual desde 1985 a 2024. La información fue filtrada de acuerdo con la presencia de superficies de infraestructura o conglomerados urbanos con atributos de carácter residencial, comercial, servicios, industrial, parques entre otros.



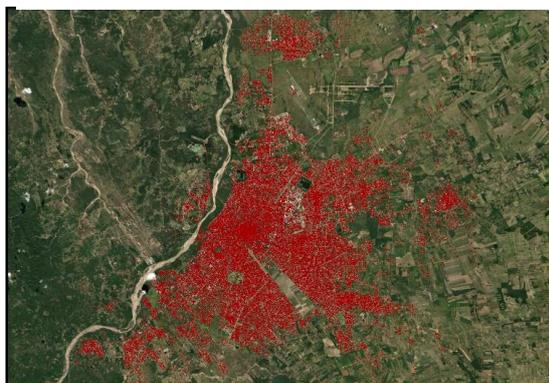
Mapa base GOOGLE



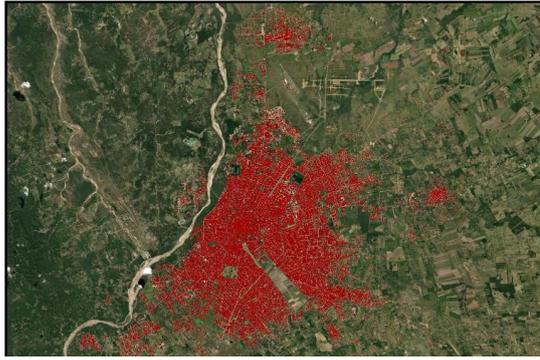
ESA 2020



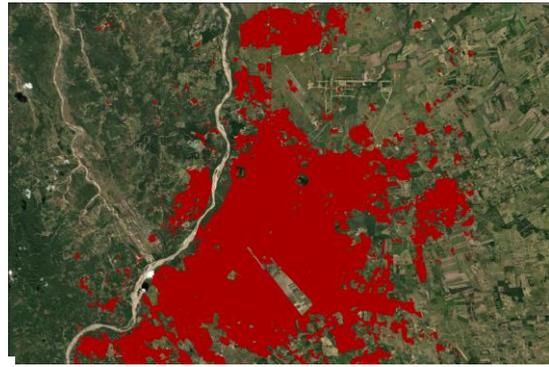
GLOBAL LAND COVER 2019, V1.0



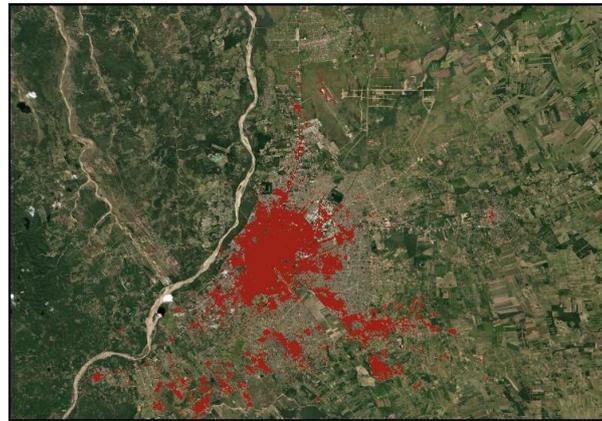
ESRI 2020



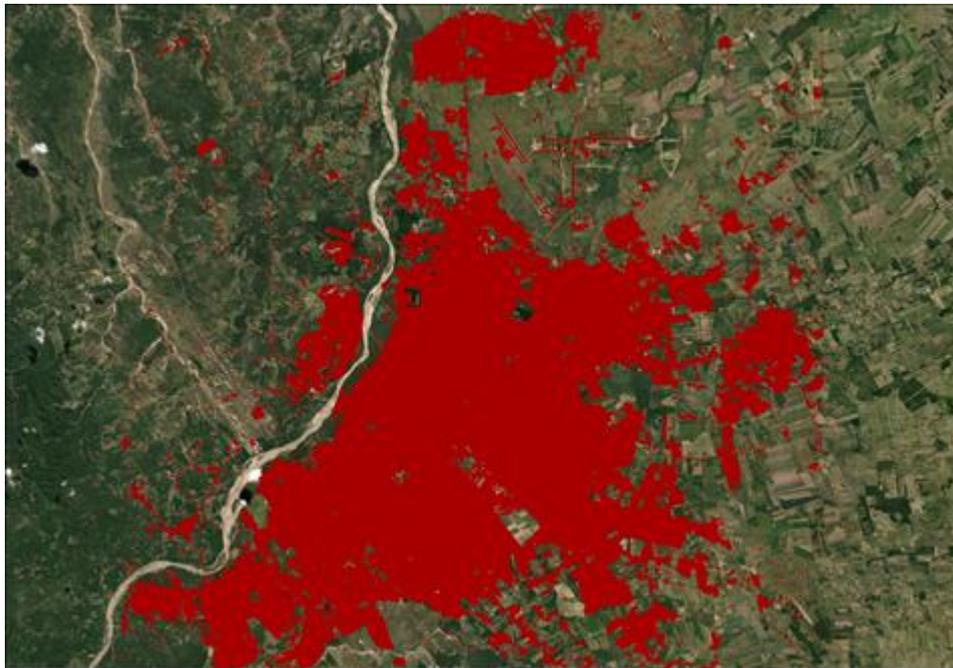
WORLD SETTLEMENT FOOTPRINT 2019



**HIGH RESOLUTION SETTLEMENT LAYER
CIESIN - FACEBOOK: HRSL**



ID 24 Clasificación Colección 3 sin transversal urbano



**Figura 5. Fuentes de referencia disponibles para el área de estudio de MapBiomás Bolivia.
Acumulado total (1985 - 2024)**

Tabla 5. Información empelada como referencia global en el proceso de clasificación de infraestructura urbana

Referencias globales	Utilizado en Colección 3
Stable pixel of urban Colección 2	●
Accumulated of urban Colección 2	●
ESRI Build área	
ESA WolrdCover Project 2020 Built up	
World Settlement Footprint 2015	
World Settlement Footprint 2019	
World Settlement Footprint Evolution 1985 - 2015	●
Mapa densidad población alta resolución CIESIN Facebook	
Global Land cover and land use 2024	

La Tabla 5 y 6 describe la información secundaria empleada por cada país como fuente de referencia en el proceso de clasificación de infraestructura urbana.

Tabla 6. Información empleada como referencia nacional en el proceso de clasificación de infraestructura urbana

Referencias nacionales	Fuente
Infraestructura urbana comprende a todas las redes de servicios y estructuración vial necesarios para el establecimiento de equipamiento urbano y vivienda, que en suma permitan la comprensión de la “forma urbana” para describir su conformación, tipo de trazo, densidad edificada, etc.	Instituto nacional de estadística - INE (Censo Nacional de población y vivienda). GeoBolivia - Infraestructura de datos espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia (IDE - EPB) OpenStreetMap (2024)

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 Llenado de vacíos de información - 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 Bolivia 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.

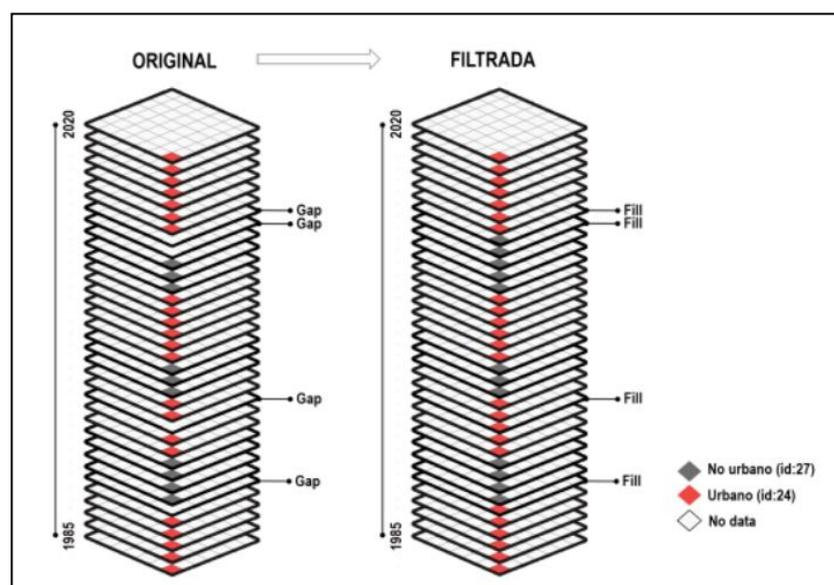


Figura 6. Filtro Gap fill

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 con el 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.

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 2024.

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

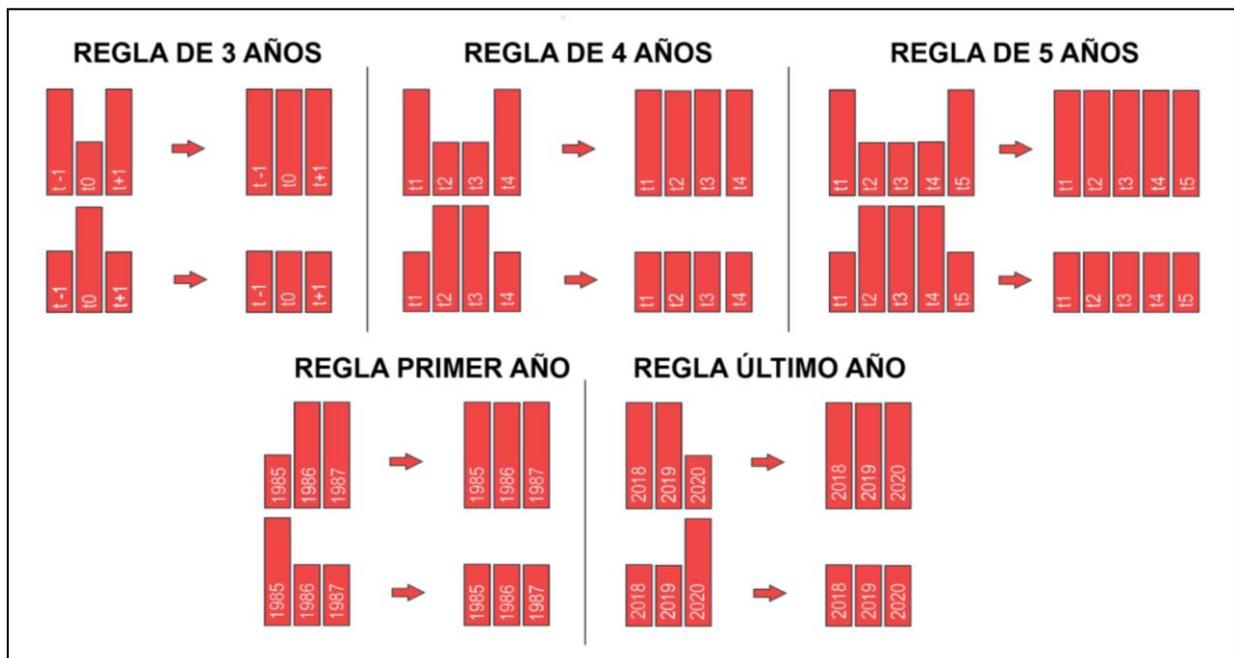


Figura 7. Filtro temporal.

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 un año a otro.

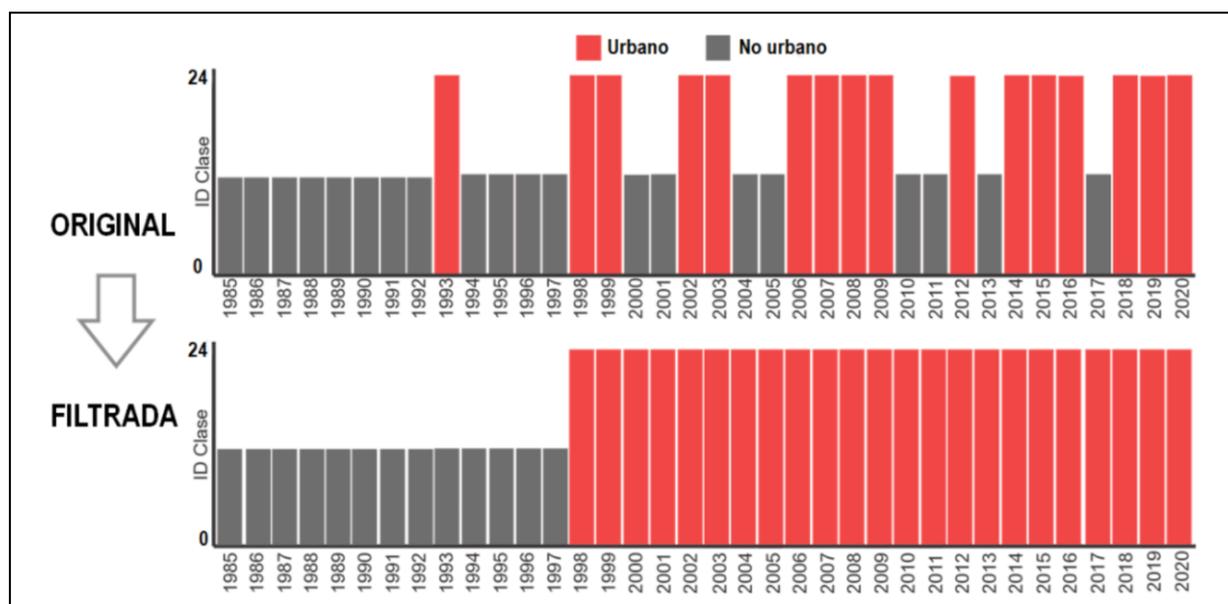


Figura 8. Filtro de frecuencia.

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 Bolivia, 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.

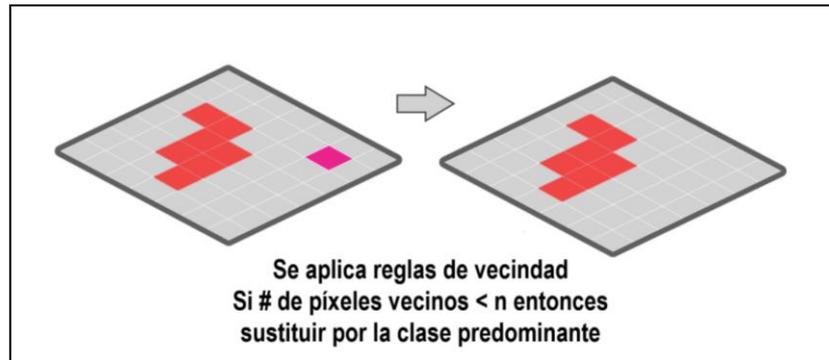


Figura 9.Filtro espacial.

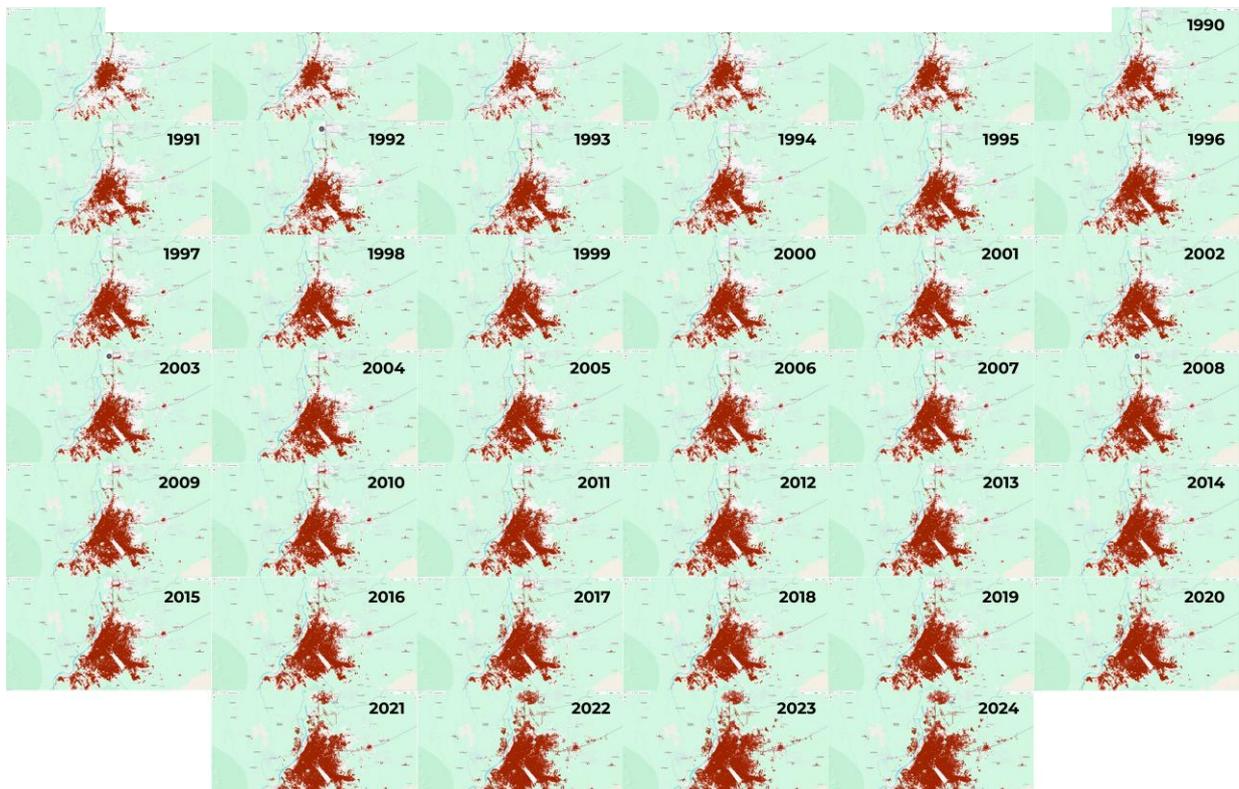


Figura 10.Clasificación multitemporal Infraestructura Urbana Colección 3 - 1985 a 2024 (Santa Cruz de la Sierra - Bolivia).

El territorio boliviano se compone por 9 departamentos, los cuales a su vez se encuentran divididos en municipios. A su vez existe el denominado “eje troncal” que compone a los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, ya que concentran a la mayor cantidad de población distribuidos en sus capitales departamentales y el área metropolitana que conforman junto a los municipios colindantes a estos.

En el año 1985 se detectó una superficie de 72.052 hectáreas, y hasta el año 2024 se detectó una superficie de 5.008.340 hectáreas, de esta manera se determinó una tasa de crecimiento anual promedio del 11,49% en 40 años.

En la figura 11 podemos observar la superficie identificada de la clase infraestructura urbana compilada cada 5 años, donde se observa que en los últimos 4 años (2000 - 2024), la superficie identificada duplica a la serie de años de 1985 - 1989 y 1990 - 1994.

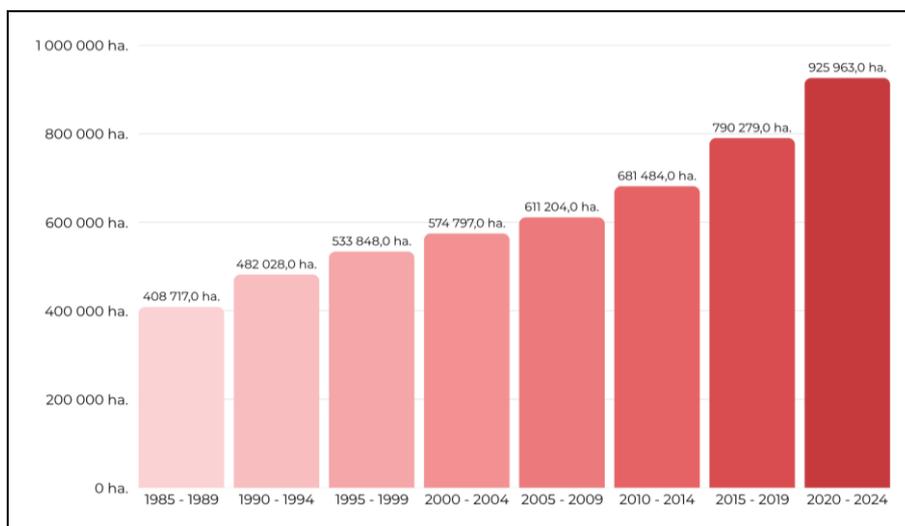


Figura 11. Superficie de la clase infraestructura urbana agrupada cada 5 años desde 1985 - 2024.

En la figura 12 podemos observar la superficie acumulada de la clase Infraestructura urbana por departamento de mayor a menor superficie.

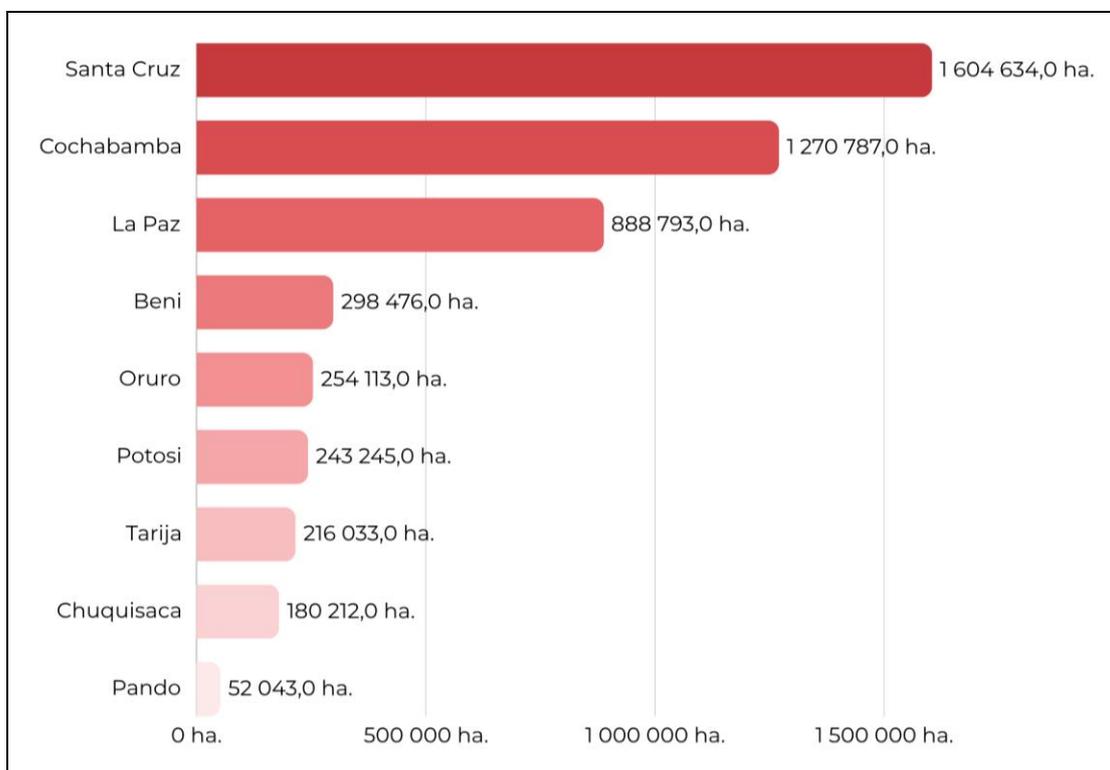


Figura 12. Superficie acumulada de la clase infraestructura urbana por departamento.

5.1. Área metropolitana del departamento de La Paz

El área metropolitana del departamento de La Paz se conforma por 8 municipios, Nuestra Señora de La Paz, El Alto, Viacha, Achocalla, Palca, Laja, Pucarani y Mecapaca, es considerada el área metropolitana más grande del mundo distribuido a mayor altitud. Según las proyecciones de población por departamento y municipio del instituto nacional de estadística (INE,2020), se estima una población de 1,8 millones de habitantes para el año 2024.

En la figura 13 podemos observar la distribución de la clase de infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de La Paz, donde el color rosado representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 1985 y el color rojo representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 2024.

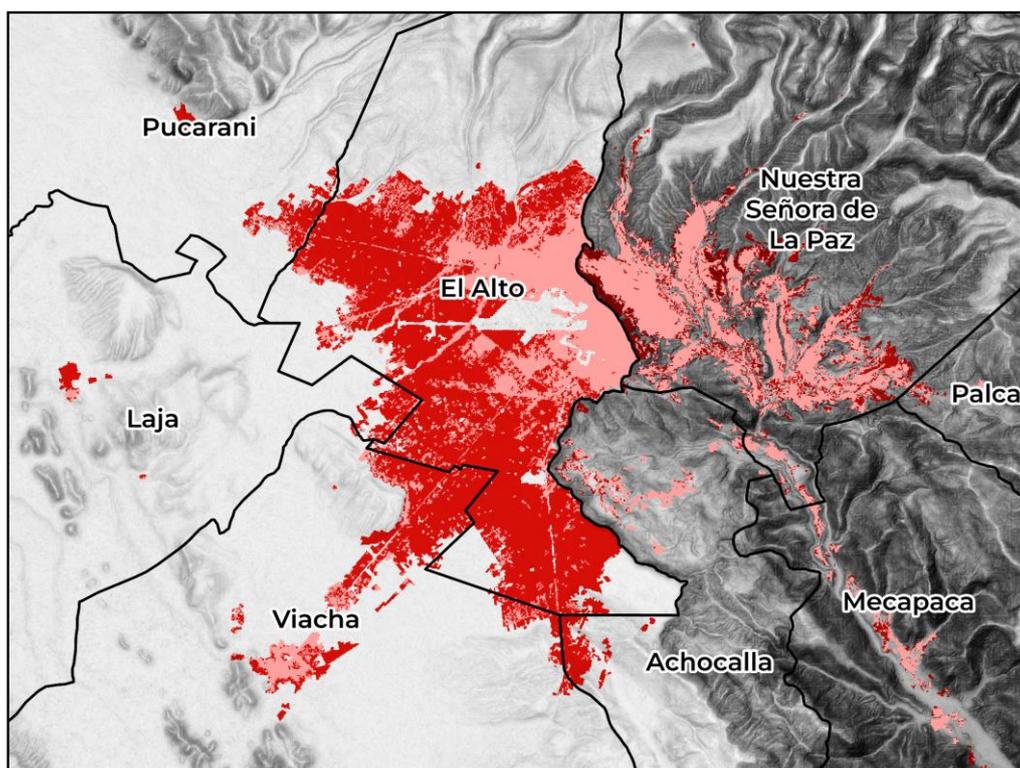


Figura 13. Distribución de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de La Paz.

La clasificación del año 2024 de la clase de infraestructura urbana para la colección 3 de MapBiomias Bolivia muestra que los 8 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de La Paz abarcan una superficie de 27.282,78 hectáreas, mientras que el resto de los municipios abarcan una superficie de 10.575 hectáreas.

Esto quiere decir que, de los 87 municipios que conforman el departamento de La Paz, el 72,07% de la superficie de la clase de infraestructura urbana para el año 2024 se encuentra distribuido únicamente en 8 municipios, mientras que el 27,93% se encuentra distribuido en 79 municipios. De los 8 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de La Paz, el municipio de El Alto es el que abarca mayor superficie con 15.572 hectáreas, mientras que el municipio de Palca es el que menos superficie abarca con 148 hectáreas.

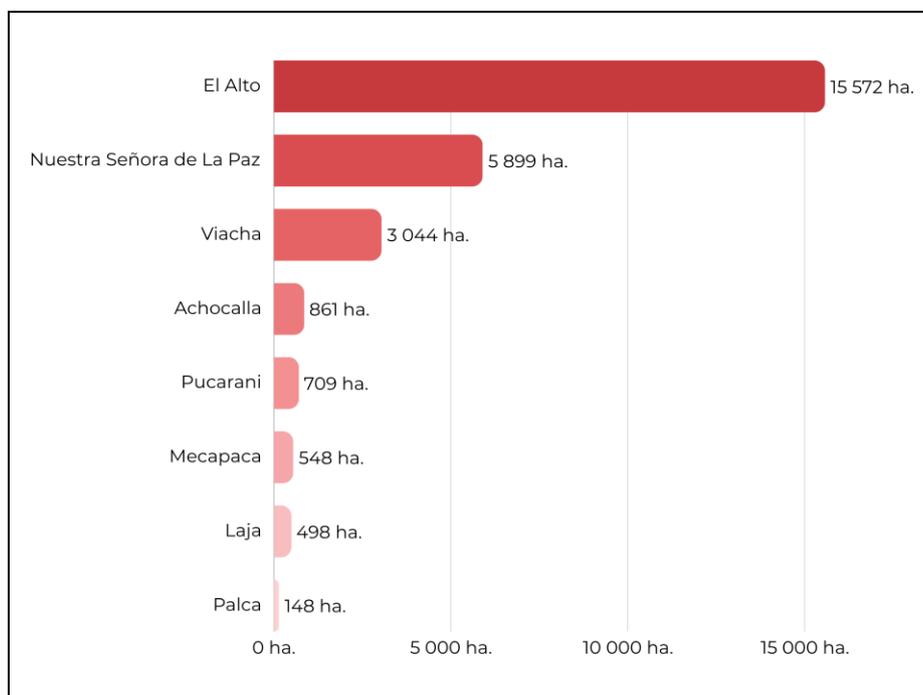


Figura 14. Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de La Paz.

5.2. Área metropolitana del departamento de Cochabamba

El área metropolitana del departamento de Cochabamba se conforma por 7 municipios, Cochabamba, Colparihua, Quillacollo, Sacaba, Sipe Sipe, Tiquipaya y Vinto, también es conocido como el área metropolitana “Kanata”. Según las proyecciones de población por departamento y municipio del instituto nacional de estadística (INE,2020), se estima una población de 1,5 millones de habitantes para el año 2024.

En la figura 15 podemos observar la distribución de la clase de infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Cochabamba, donde el color rosado representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 1985 y el color rojo representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 2024.

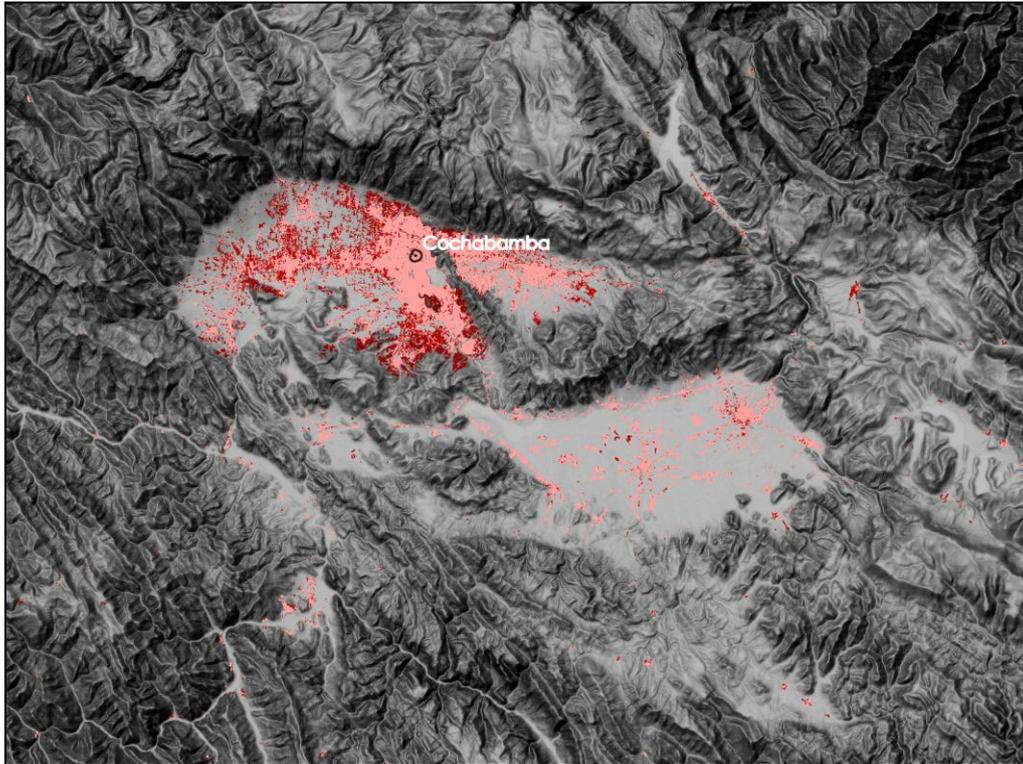


Figura 15. Distribución de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Cochabamba.

La clasificación del año 2024 de la clase de infraestructura urbana para la colección 3 de MapBiomias Bolivia muestra que los 7 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Cochabamba abarcan una superficie de 25.631,55 hectáreas, mientras que el resto de los municipios abarcan una superficie de 15.127,29 hectáreas.

Esto quiere decir que, de los 47 municipios que conforman el departamento de Cochabamba, el 62,89% de la superficie de la clase de infraestructura urbana para el año 2024 se encuentra distribuido únicamente en 7 municipios, mientras que el 37,11% se encuentra distribuido en 40 municipios. De los 7 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Cochabamba, el municipio de Cochabamba es el que abarca mayor superficie con 11687 hectáreas, mientras que el municipio de Tiquipaya es el que menos superficie abarca con 1149 hectáreas.

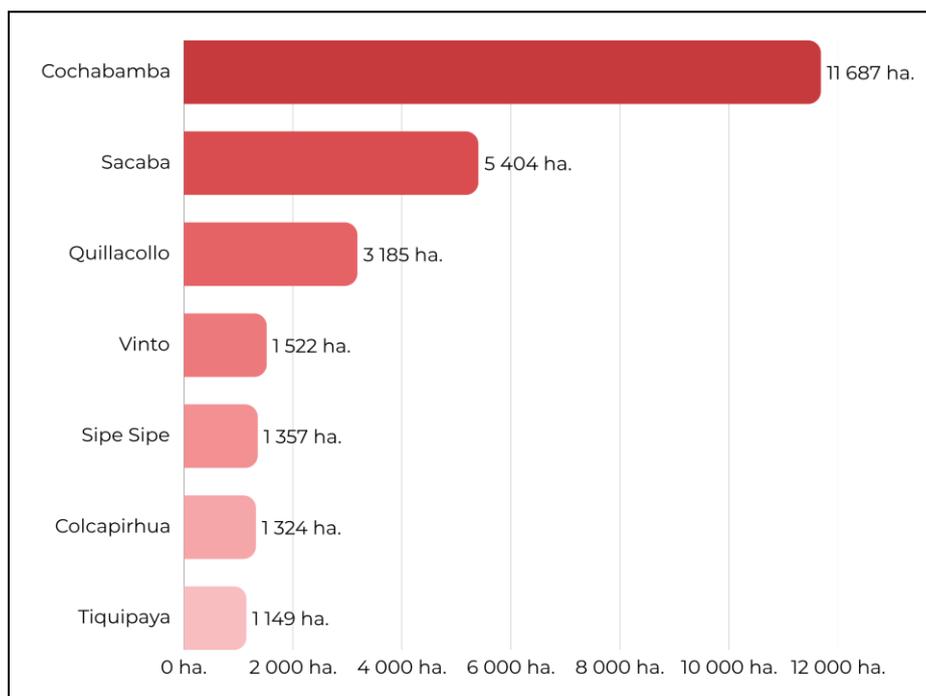


Figura 16. Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Cochabamba.

5.3. Área metropolitana del departamento de Santa Cruz

El área metropolitana del departamento de Santa Cruz se conforma por 6 municipios, Santa Cruz de la Sierra, La Guardia, Warnes, El Torno, Cotoca y Porongo, en algunos casos y según el análisis podría incluirse a los municipios de Colpa Bélgica y Pailón. Según las proyecciones de población por departamento y municipio del instituto nacional de estadística (INE,2020), se estima una población de 2 millones de habitantes para el año 2024.

En la figura 17 podemos observar la distribución de la clase de infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Santa Cruz, donde el color rosado representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 1985 y el color rojo representa la infraestructura urbana acumulada hasta el año 2024.

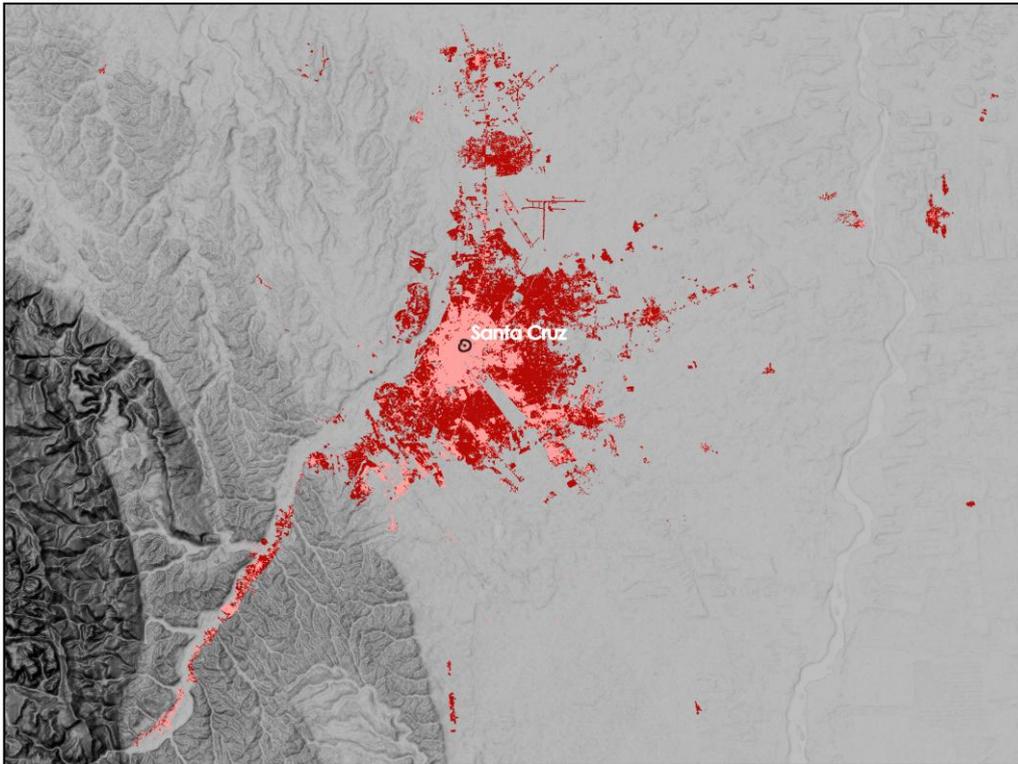


Figura 17. Distribución de la clase infraestructura urbana en el área metropolitana del departamento de Santa Cruz.

La clasificación del año 2024 de la clase de infraestructura urbana para la colección 3 de MapBiomás Bolivia muestra que los 6 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Santa Cruz abarcan una superficie de 42.488,55 hectáreas, mientras que el resto de los municipios abarcan una superficie de 25.654,86 hectáreas.

Esto quiere decir que, de los 56 municipios que conforman el departamento de Santa Cruz, el 62,35% de la superficie de la clase de infraestructura urbana para el año 2024 se encuentra distribuido únicamente en 6 municipios, mientras que el 37,65% se encuentra distribuido en 50 municipios. De los 6 municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Santa Cruz, el municipio de Santa Cruz de la Sierra es el que abarca mayor superficie con 28.621 hectáreas, mientras que el municipio de Porongo es el que menos superficie abarca con 1.266 hectáreas.

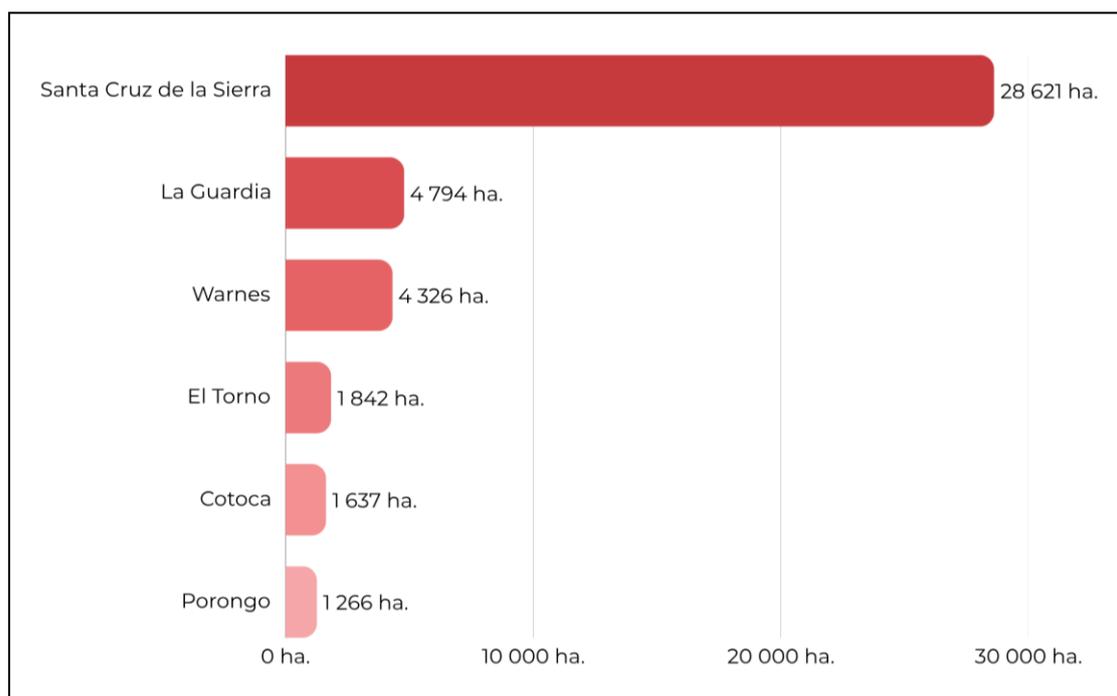


Figura 18. Superficie identificada de la clase urbano del año 2024 en los municipios que conforman el área metropolitana del departamento de Santa Cruz.

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™ 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 Infraestructura Urbana. Versión 1. Recuperado el 2 de Julio de 2021: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infraestructura_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