

# DINÁMICA DE COBERTURA VEGETAL DEL PERIODO 2013-2021 EN EL PARQUE METROPOLITANO DE PROTECCIÓN ECOLÓGICA DEL RÍO PIRAI

## DYNAMICS OF VEGETABLE COVER FOR THE 2013-2021 PERIOD IN THE PIRAI RIVER METROPOLITAN ECOLOGICAL PROTECTION PARK

VALDA VEGA, P. L., MATIJASEVIC MOSTAJO, S.

### RESUMEN

**E**l Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai del municipio de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, presenta una superficie de 15,9 km<sup>2</sup>, tiene como principal función la prevención de inundaciones y de normalización temperatura para la ciudad. En dicha área se analizó la dinámica de cambio ocurrido sobre su cobertura vegetal, en dos gestiones 2013 – 2017 y 2017 – 2021. Se utilizaron imágenes satelitales provenientes de los sensores OLI de la Landsat 8, a las cuales, a través de los procesos de teledetección, se les realizó una clasificación no supervisada de la cobertura vegetal, en donde a raíz de sus aspectos fisiológicos se logró la identificación de clases de coberturas. A través de herramientas de teledetección y análisis geoespacial de los sistemas de información geográfica, se elaboró los mapas de índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, para las gestiones 2013, 2017 y 2021. La comparación entre ambas gestiones (2013 - 2017) y (2017 - 2021), muestran que, para el primer período, el área de estudio se encontraba con mayor presión de actividades humanas en su cobertura de bosque denso con una diferencia de 2,53 km<sup>2</sup>. En relación con el segundo período de análisis, el cual mostró cambio positivo de recuperación vegetal y disminución de áreas sin cobertura boscosa, con una sumatoria favorable de 1,52 km<sup>2</sup> en su bosque denso. Se concluye que, las técnicas de teledetección ambiental y los análisis de procesamientos son herramientas de diagnósticos efectivas para el monitoreo de coberturas a través del tiempo que van en pro a la conservación de las áreas naturales.

### PALABRAS CLAVE

Teledetección,  
Clasificación digital,  
Cobertura vegetal,  
Imágenes satelitales

### ABSTRACT

**T**he Metropolitan Park for the Ecological Protection of the Pirai River in the municipality of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, has an area of 15.9 km<sup>2</sup>, its main function being flood prevention and temperature normalization for the city. In this area, the dynamics of change that occurred on its vegetation cover was analyzed, in two administrations 2013 - 2017 and 2017 - 2021. Satellite images from the Landsat 8 OLI sensors were used, for this, through the processes of remote sensing, an unsupervised classification of the vegetation cover was carried out, where based on its physiognomic aspects, the identification of cover classes was achieved. Through remote sensing tools and geospatial analysis of geographic information systems, the NDVI normalized difference vegetation index maps were prepared for the 2013, 2017 and 2021 administrations. The comparison between both administrations (2013 - 2017) and (2017 - 2021), show that, for the first period, the study area was under greater pressure from human activities in its dense forest cover with a difference of 2.53 km<sup>2</sup>. In relation to the second period of analysis, which showed a positive change in plant recovery and a decrease in areas without forest cover, with a favorable sum of 1.52 km<sup>2</sup> in its dense forest. It is concluded that environmental remote sensing techniques and processing analysis are effective diagnostic tools for monitoring coverage over time that are in favor of the conservation of natural areas.

### KEYWORDS

Remote sensing,  
Digital classification,  
Vegetation cover,  
Satellite images

## INTRODUCCIÓN

**B**olivia cuenta con 22 Áreas Protegidas Nacionales que alcanzan una superficie de 171000 km<sup>2</sup>, 15,5 % del territorio boliviano, y que, sumadas con las áreas protegidas departamentales y municipales, 66100 y 28900 km<sup>2</sup> respectivamente, llegan al 23 % del mismo (Del Carpio, 2014).

Se documentaron procesos de pérdida de bosques en los últimos años. Es importante el conocimiento del estado actual o condición ecológica de los bosques en amplias zonas de Bolivia porque es la base para un adecuado manejo, para planificar acciones de uso y restauración de ese recurso forestal para que el crecimiento demográfico y explotación del bosque no constituya una amenaza destructiva (Navarro, 2018).

El Instituto Nacional de Estadística (INE) indica que Bolivia, en el año 2017 poseía 11,2 millones de habitantes y el 2020 11,7 millones (INE, 2022).

La degradación ambiental es la causa primaria de la pérdida de los recursos naturales. Es el resultado del cambio del uso del suelo que se ha venido registrando en la última década, principalmente por deforestación, erosión de suelos, fragmentación de sistemas hidrológicos, intensa urbanización, contaminación sin control y construcción de obras de ingeniería impulsadas por el crecimiento demográfico y demandas de la población humana, además de la carencia total o parcial de planificación en los procesos de desarrollo.

Las actividades mencionadas están induciendo a la pérdida de la vegetación natural, generando un riesgo para la ciudad de Santa Cruz, por la presencia de un río de ancho considerable, caudaloso y con una dinámica de pulsos de inundación súbita que requiere forzosamente de la presencia de una vegetación ribereña bien establecida. (SEARPI, 2011).

El marco jurídico y legal de creación y protección del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Piraí del municipio de la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra se sustenta en Leyes y Ordenanzas Municipales como:

Ley Forestal N° 1700, 1992, con sus artículos y reglamento en torno a las servidumbres ecológicas.

La ley 2122 Patrimonio Histórico y Natural, 2000, que declara patrimonio Histórico a la cuenca del Río Piraí y área de prioridad, valoración, protección y restauración del ecosistema.

La Ordenanza Municipal N° 061/2002, que ratifica el Reglamento Normativo del Área de Protección Ecológica del Río Piraí, ubicado en la llanura de inundación del mismo, con un área aproximadamente de 5,96 km<sup>2</sup>.

Ley N° 2913 del 18 de noviembre del 2004, que tiene como objetivo el declarar “Parque Ecológico Metropolitano Piraí” a todas las riberas del río Piraí ubicadas en los municipios de la metrópoli del Departamento de Santa Cruz (Santa Cruz de la Sierra, Montero, Warnes, Porongo, La Guardia y El Torno), entendiéndose por ribera al área de protección cuyo aprovechamiento se debe limitar a fines de recreación, educación e investigación como indica el Art. 3° Ley 1700.

La Ley N° 2553, encargada de subir a rango de Ley el Plan de uso de suelo de Santa Cruz (PLUS-SC).

La Ordenanza Municipal N° 150/2009 donde se declara Bosque de Protección al área congruente al curso del agua de la cuenca del río Piraí, que a partir de su fecha de promulgación, 13 de enero del 2010, se constituyó como el Parque de Protección Ecológica del Río Piraí del municipio de la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

La Ordenanza Municipal N° 068/2011, donde se declaran como bien de dominio público municipal 287318,32 m<sup>2</sup> para el parque Piraí.

La Ordenanza Municipal N° 062/2013, donde se declara como bien de dominio público municipal 0,792 km<sup>2</sup> para el parque Piraí

Las Resoluciones Administrativas de la ABT N° 171/2012 y N° 199/2012, las cuales exigen cumplimientos de normas legales.

La Ley Autonómica Municipal GAMSCS N° 1434, de fecha 23 de abril de 2021 tiene por objeto proteger, conservar y delimitar el Bosque de Protección congruente al curso de agua del río Piraí declarado como Área Protegida “Parque Metropolitano de Protección Ecológica del río Piraí”, por la riqueza de la flora y fauna que posee, por las funciones ambientales que brinda a la población, por constituirse en Patrimonio Natural y Sistema Protector de la zona Oeste de la ciudad frente a posibles inundaciones, declarando prioridad municipal su valorización y restauración.

Debido a esta ley se emitió la Resolución Administrativa SITPLAN N°114/2021 de fecha 12 de octubre del 2021 que, en su Artículo Primero, declara una pausa administrativa en el área protegida “Parque Metropolitano de Protección Ecológica del río Piraí” y, en su Artículo Segundo, prohíbe todo trabajo de construcción y/o ampliación de viviendas, urbanizaciones, condominios, cerramientos perimetrales, aperturas de nuevos caminos y/o sendas, fraccionamiento de predios, desmonte mecanizado y/o manual, remoción de suelos, caza, pesca y comercialización de animales silvestres; la tala, emplazamiento de fuentes fijas y/o móviles de contaminación acústica, y otros que puedan comprometer la funcionalidad hidráulica de la llanura de inundación y las funciones ambientales que brinda a la población el Área Protegida.

El Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Piraí del municipio de la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra presenta una situación desconocida en lo que se refiere a la estabilidad de su cobertura vegetal, ya que la existencia de asentamientos humanos, construcciones de caminos y campamentos de extracción de áridos, al igual que la tala específica de algunas especies vegetales, el desmonte originado por personas del lugar y en algunos casos, por empresas privadas, trae consigo el cambio de cobertura vegetal en este parque. (D'alencar, 2017).

La pérdida de cobertura vegetal que se presenta en el Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Piraí resulta del cambio del uso del suelo que se ha venido registrando la última

década, principalmente por la deforestación, erosión de suelos, fragmentación de sistemas hidrológicos, intensa urbanización, contaminación sin control y construcción de obras de ingeniería impulsadas por el crecimiento demográfico y demandas de la población humana y la carencia total o parcial de planificación en los procesos de desarrollo.

El crecimiento urbano de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra se sigue incrementando sin planificación adecuada a medida que van pasando los años, lo cual contribuye en la dinámica de la cobertura vegetal del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai, trayendo como consecuencia la disminución de superficies de ecosistemas, pérdida de defensivos naturales y pérdida arbórea.

## DESARROLLO

Se descargaron imágenes satelitales Landsat de la página Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS, con la menor cobertura de nubes para época seca, mayo a septiembre, y de lluvias, octubre a abril, de los años 2013, 2017 y 2021.

Las imágenes satelitales del sensor OLI de Landsat 8 contienen 11 bandas para el procesamiento de las imágenes aplicando el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Solo se descargaron las bandas 4, roja,  $\lambda = 0.63-0.67$  mm, que distingue laderas de vegetación y 5, infrarrojo cercano,  $\lambda = 1.85-0.88$ , que destaca el contenido de biomasa y las costas, de cada imagen, las cuales se utilizaron para aplicar el NDVI.

Se realizó una reproyección al sistema de referencia del *World Geodesic System WGS-1984 Universal Transversor Mercator* UTM Zona 20 sur. Se continuó a georreferenciación de cada una de las planillas o capas, layer, de trabajo en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zone 20 Sur.

Se combinaron las bandas satelitales 6, 5 y 4 para realizar análisis de vegetación en el área de estudio.

Se utilizó la herramienta Geobía para realizar un Pan-Sharpned composit y un refinado de la imagen satelital, permitiendo aumentar la resolución espacial de las bandas y recortando el espacio de trabajo a un área ya definida.

Con la herramienta *Radiance with atmospheric correction* se corrigieron los valores radiométricos de las imágenes Landsat, utilizando las bandas y los archivos de metadatos generados en la etapa anterior, introduciendo el archivo de trabajo de corrección atmosférica y metadatos generados en el punto anterior.

Se agregaron las bandas corregidas 6, 5 y 4 al espacio de trabajo y se procedió a combinarlas. Se recortó el área de estudio.

Mediante la herramienta *Extract by Mask* se recortó el área de estudio (cordón ecológico) para proceder con los siguientes análisis.

Con la herramienta *Iso Cluster Unsupervised Classification* se introdujo como entrada de *raster* la imagen recortada previamente y como número de clases 7. Se procedió a realizar la clasificación no supervisada. Se identificaron todas las coberturas del estudio.

Con la imagen resultante se procedió a identificar cada una de las coberturas obtenidas dándole un nombre y color.

Se procedió a identificar puntos de muestras de cada cobertura obtenida, teniendo un total de 84 puntos, es decir, 12 o 14 puntos

de muestras por cobertura. Se procedió a darle una identificación en la figura de atributos, siendo estos 1 para la primera cobertura, 2 para la segunda y así sucesivamente.

Se procedió a transformar los puntos obtenidos a *raster* con la herramienta *Point to Raster*.

Se combinaron los puntos *raster* con la clasificación no supervisada para obtener una base de datos entre ambos.

Con la base de datos obtenida anteriormente se procedió a realizar la tabla pivote dando como información de entrada la clasificación no supervisada, como pivote los puntos de muestra y finalmente como valor *count*.

Las tablas 1, 2 y 3 muestran la clasificación no supervisada correspondiente a los años 2013, 2017 y 2021 respectivamente

**Tabla 1.** Clasificación no supervisada de la cobertura vegetal 2013

Tipo de Cobertura	Área, km <sup>2</sup>	Porcentaje, %
Cuerpos de agua	1,15	7,25
Coberturas de vegetación	12,44	78,44
Coberturas de suelo	2,27	14,31
TOTAL	15,86	100,00

**Tabla 2.** Clasificación no supervisada de la cobertura vegetal 2017

Tipo de Cobertura	Área, km <sup>2</sup>	Porcentaje, %
Cuerpos de agua	1,01	6,37
Coberturas de vegetación	10,57	66,65
Coberturas de suelo	4,28	26,98
TOTAL	15,86	100,00

**Tabla 3.** Clasificación no supervisada de la cobertura vegetal 2021

Tipo de Cobertura	Área, km <sup>2</sup>	Porcentaje, %
Cuerpos de agua	1,16	7,31
Coberturas de vegetación	8,95	56,43
Coberturas de suelo	5,75	36,26
TOTAL	15,86	100,00

Los mapas correspondientes a la clasificación no supervisada de la cobertura vegetal de los años 2013, 2017 y 2021 se muestran en la figura 1.

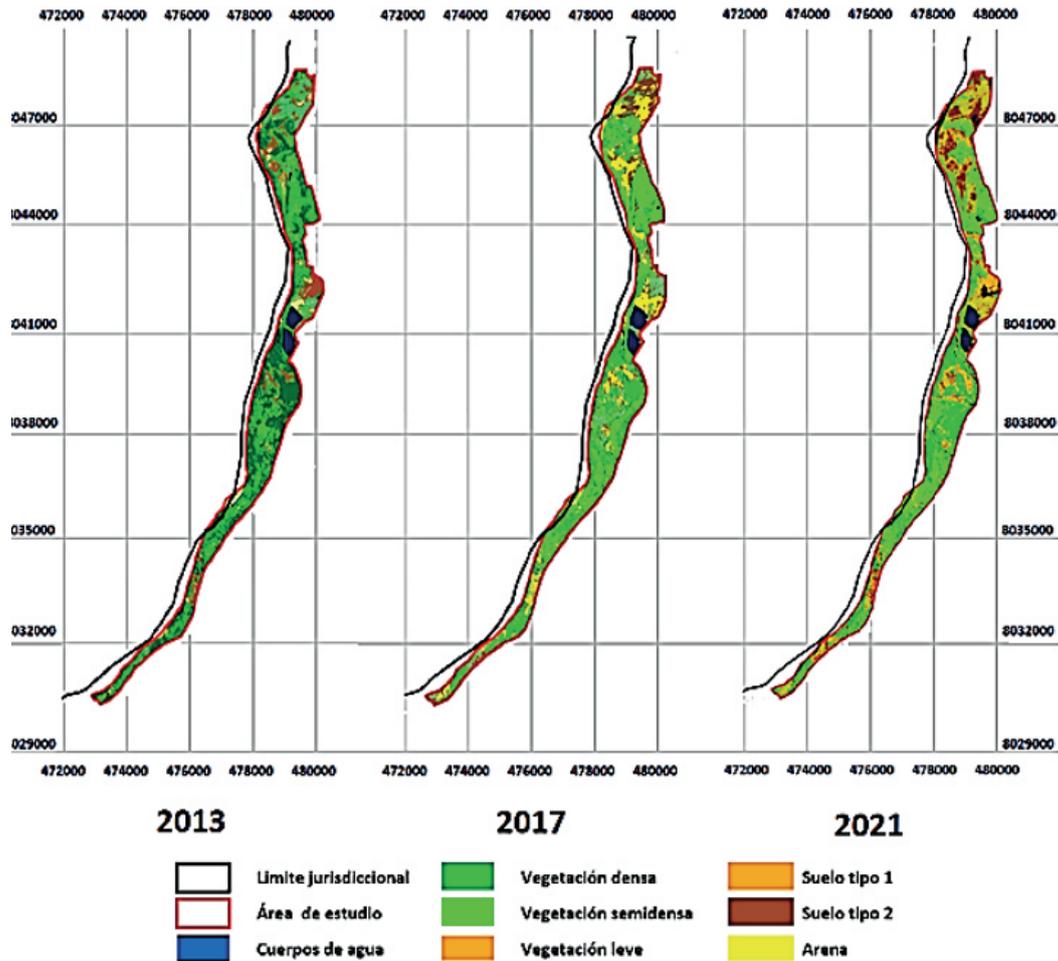


Figura 1. Mapas resultantes de la clasificación no supervisada de la cobertura vegetal de los años: 2013, 2017 y 2021

Se agregaron las bandas 4 y 5 de trabajo para la obtención de la clasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) donde los valores obtenidos para NDVI están dentro de un rango de -1 a 1.

Con la herramienta raster calculator se procedió a introducir la siguiente fórmula para obtener el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI):

$$\frac{\text{Float (Banda 5 - Banda 4)}}{\text{Float (Banda 5 + Banda 4)}}$$

Con la herramienta *Extract by Mask* se realizó el recorte del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con área de estudio deseado para la investigación.

Se procedió a cambiar de color de rojo a verde para visualizar mejor el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y se reclasificaron las coberturas necesarias para la discriminación de las masas vegetales, que comienzan a absorber energía en el espectro electromagnético visible hasta llegar a un rechazo en la zona del infrarrojo cercano, conocido como NIR (*Near Infrared*). Es en esta franja del espectro electromagnético donde la energía es reflejada por la vegetación. Esta situación hace que en la banda del infrarrojo cercano se pueda calcular el NDVI.

Para la comparación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) como bandas de trabajo para obtener una comparación de NDVI de distintos años estudiados se combinó los NDVI R= NDVI del año más antiguo, G y B del año más nuevo, como se puede visualizar en la imagen, obteniéndose así la imagen comparativa.

La figura 2 muestra los mapas comparativos del cambio en la

cobertura vegetal en los periodos estudiados.

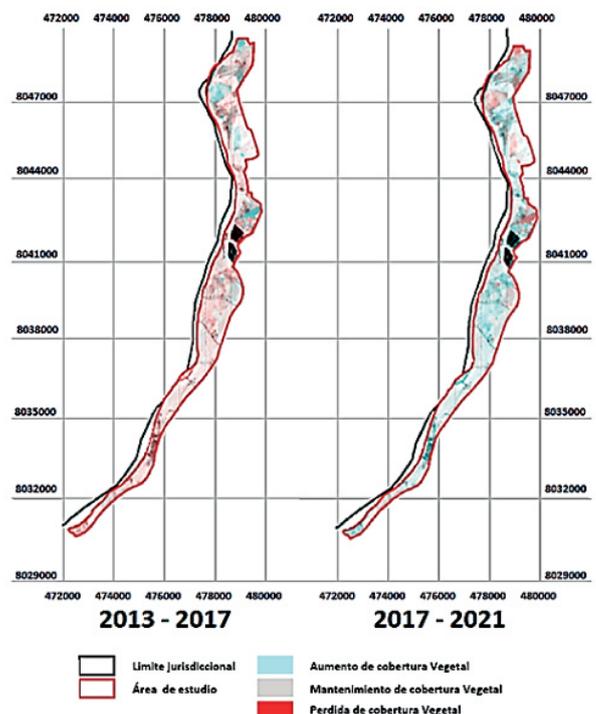


Figura 2 Mapas NDVI comparativos del cambio en la cobertura vegetal en los periodos estudiados

En la figura 3 se reportan los mapas del Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) del cordón ecológico para los años 2013, 2017 y 2021 en época seca.

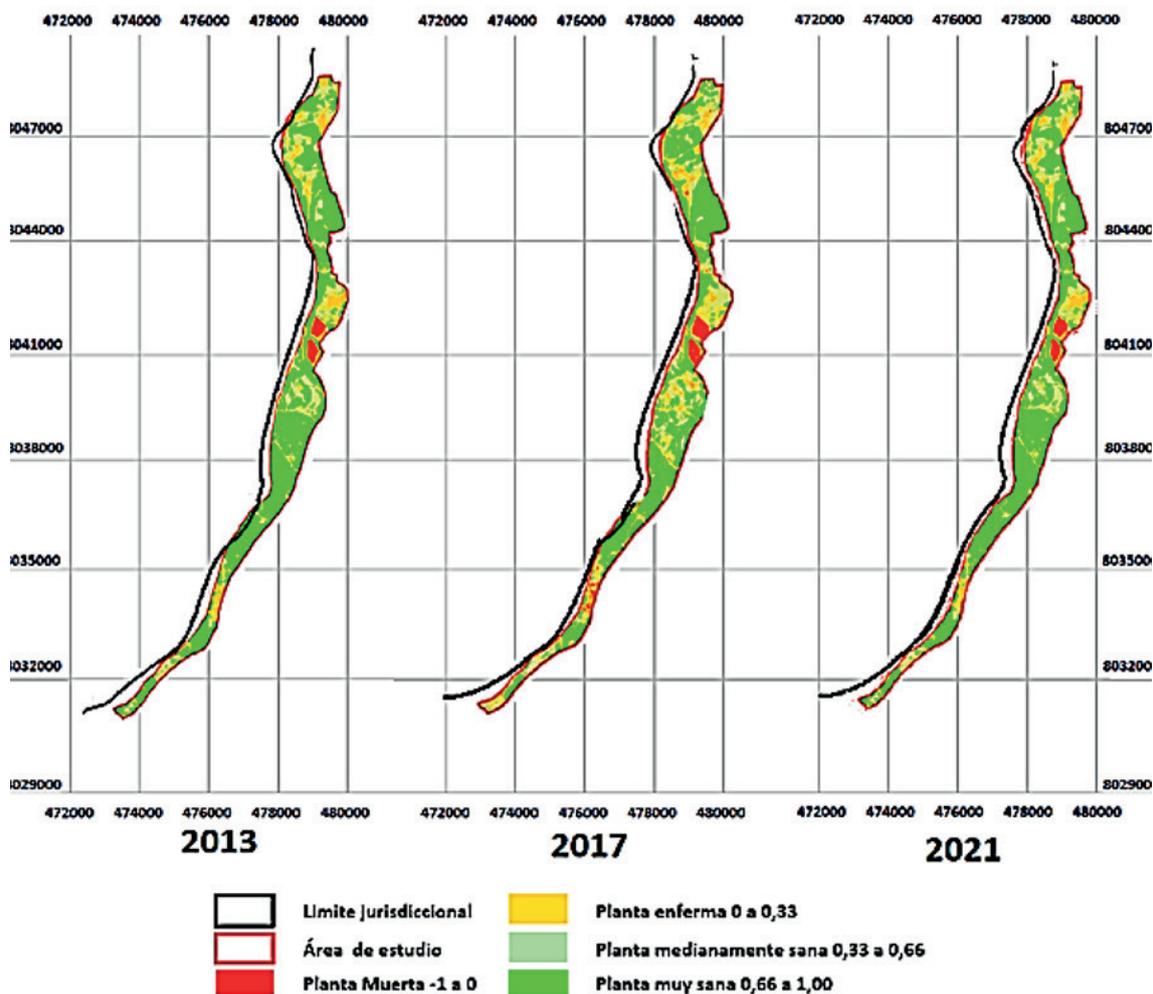


Figura 3 Mapas del Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) del cordón ecológico para los años 2013, 2017 y 2021 en época seca

En la tabla 4 se reportan las coberturas vegetales del parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai según NDVI

Tabla 4. Cobertura vegetal del parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai según NDVI

CLASE	AÑO 2013		AÑO 2017		AÑO 2021	
	Superficie km <sup>2</sup>	%	Superficie km <sup>2</sup>	%	Superficie km <sup>2</sup>	%
Planta muerta u objeto inanimado	0.27	1,69	0.89	5,64	0.41	2,60
Planta enferma	1.41	8,87	2.30	14,50	1.80	11,40
Planta medianamente sana	4.04	25,47	50.46	31,82	4.49	28,35
Planta muy sana	10.43	63,96	7.62	48,04	9.14	57,65
<b>TOTAL</b>	<b>15.86</b>	<b>100,00</b>	<b>15.86</b>	<b>100,00</b>	<b>15.86</b>	<b>100,00</b>

Si bien el área de estudio presenta riesgos de peligro para el observador que no le permiten recorrer y tomar datos para referenciar con coordenadas las coberturas existentes, la metodología de validación de la clasificación no supervisada permite obtener un nivel de exactitud muy buena comparando con los resultados del índice Kappa de Cohen de cada uno de los mapas de cobertura vegetal del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai del municipio de la ciudad de Santa Cruz, para los años analizados 2013, 2017 y 2021

En la tabla 5 se indican los porcentajes resultantes de la matriz de confusión y del índice de Kappa de Cohen.

Tabla 5. Porcentaje de la matriz de confusión para el periodo 2013-2021

Ítem	2013		2017		2021	
	Índice	%	Índice	%	Índice	%
Po	0.78	77.78	0.80	79.76	0.93	92.86
Pe	0.17	16.67	0.17	16.67	0.17	16.67
K	0.73	73.33	0.76	75.71	0.91	91.43

## CONCLUSIÓN

Como resultado, la clasificación de las imágenes satelitales y cartografía temática de cobertura vegetal del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai del municipio de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra para los 2013, 2017 y 2021, evidencia que la clase masa arbórea presenta mayor dominancia en superficie sobre el resto de las clases. Sin embargo, a pesar de tener la extensión más alta de espacio, su área de influencia no es la más representativa en los tres años analizados.

Las comparaciones entre ambas gestiones (2013 - 2017) y (2017 - 2021), indican que, para el primer período, el área de estudio se encontraba con mayor presión de actividades humanas en su cobertura de bosque denso con una diferencia de 2.53 km<sup>2</sup>. El segundo período de análisis mostró una recuperación vegetal y disminución de áreas sin cobertura boscosa, con una suma de 1.52 km<sup>2</sup> en su bosque denso. Se cree que dichos cambios

positivos son el resultado de las legislaciones establecidas para este último período.

Según los resultados del índice Kappa del periodo 2017, la matriz presentó errores de omisión y mandato. En concreto, en la clase cultivo se observaron errores de omisión, dado que dos píxeles no fueron asignados correctamente a la categoría a la que pertenecen.

De conformidad con el cálculo del índice Kappa de Cohen, el resultado fue de 0,76, resultado que indica que existe discriminación de las categorías de interés con significativa exactitud y buena concordancia.

## REFERENCIAS

- AMATO, LOPES, ARANTES, D., & FERREIRA. (2016). Metrópolis, cobertura vegetal, áreas verdes y salud. Scielo Brasil, 30-86.
- EARTH OBSERVING SYSTEM. (2013). Obtenido de <https://eos.com/es/find-satellite/landsat8/#:~:text=El%20instrumento%20OLI%2C%20desarrollado%20por,avanzadas%20tecnolog%C3%ADas%20de%20im%C3%A1genes%20espaciales>.
- GACETA OFICIAL DEL ESTADO PLURINACIONAL BOLIVIA. (25 de SEPTIEMBRE de 2000). Ley 2122 Patrimonio Histórico y Natural. Obtenido de <http://gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/2122>
- GOBIERNO MUNICIPAL AUTÓNOMO DE SANTA CRUZ. (2022). Distrito Municipal 1 Pirai. Obtenido de <https://gmsantacruz.gob.bo/gestion/jurisdiccion-territorial/distritomunicipal.php?mostrar=distrito-municipal-1>
- INE. (2022). BOLIVIA: PROYECCIONES DE POBLACIÓN DE AMBOS SEXOS, SEGÚN EDAD, 2012-2022. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/index.php/censos-y-proyecciones-de-poblacionsociales>
- MISERENDINO, CATARI, FLORES, & AGUILA, D. (2013). ESTADO DE CONSEVACION Y AMENAZAS AL JARDIN BOTANICO MUNICIPAL SANTA CRUZ. Santa Cruz.
- NIETO, O., JIMÉNEZ, L., & NIETO, M. (2016). VARIACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES Y OCUPACIÓN DEL TERRITORIO EN EL MUNICIPIO DE ARMENIA 1939-1999. Luna Azul, 22

### CITA

