

Análisis multitemporal de la pérdida de cobertura arbórea en el Cordón Ecológico del río Piraí (Santa Cruz, Bolivia) y su relación con aspectos legales de protección

Multi-temporary analysis of tree cover loss in the Cordón Ecológico del río Piraí (Santa Cruz, Bolivia) and its relationship with legal aspects of protection

Marco Aurelio Pinto-Viveros^{1, 2, 3*} & Gien E. Taborga¹

¹Área de Geografía, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Av. Irala 565, Santa Cruz, Bolivia.

²Carrera de Ciencias Ambientales, Km. 9 carretera al Norte, El Vallecito, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia.

³Academia Nacional de Ciencias de Bolivia – Capítulo Santa Cruz. Campus Universitario UPSA, Santa Cruz, Bolivia.

* mpinto@museonoelkempff.org; marcoaureliopintoviveros@gmail.com

Resumen: Se analizó la pérdida de cobertura arbórea ocurrida en el Cordón Ecológico del río Piraí, ubicado en el municipio de Santa Cruz de la Sierra, entre los años 2001-2021 y su relación con factores legales de protección para generar conocimiento sobre patrones de cambio forestal y la afectación sobre el paisaje que aporten en la correcta gestión, control y conservación del área. Se utilizaron datos generados por Global Forest Watch, extraídos mediante Google Earth Engine y gestionados dentro de ArcMap. Para el análisis estadístico se consideraron dos estratos temporales: *i*. Inicial (2001-2010), previo a la promulgación de la Ordenanza Municipal N° 150/2009, que declara al cordón ecológico como área protegida municipal y *ii*. Final (2011-2021), que corresponde al periodo sobre el cual se encontraba legalmente protegido por dicha OM. Se analizó el comportamiento temporal de la pérdida de cobertura arbórea, se realizó una correlación de Spearman ($\alpha=0,05$) entre valores de pérdida y años de estudio y se contrastaron los valores de pérdida entre estratos temporales mediante prueba U de Mann-Whitney con un modelo lineal generalizado ($\alpha=0,05$). Del 2001 al 2021 el cordón ecológico sufrió una pérdida de cobertura arbórea acumulada de 234,91 ha (promedio de 11,19 ha/año $\pm 9,55$), representando una disminución del 23,39% de la cobertura boscosa que existía en el año 2000 (1004,20 ha). Los mayores picos de pérdida se registraron para los años 2008 (32,01 ha), 2012 (25,04 ha) y 2019 (37,12 ha). La tendencia de pérdida a través del tiempo fue levemente positiva ($\rho_{\text{Spearman}}=0,03$) y estadísticamente no significativa ($p > 0,05$); no se registró una diferencia significativa de valores de pérdida forestal entre ambos estratos temporales ($p > 0,05$). Se concluyó que, la disminución de la cobertura arbórea dentro del Cordón Ecológico del río Piraí se ha mantenido a través de tiempo, a pesar de las normativas de protección pasadas y existentes.

Palabras Clave: Crecimiento urbano, Global Forest Watch, Santa Cruz de la Sierra, uso de suelo.

Abstract: We analyzed the loss of tree cover that occurred in the Cordón Ecológico del Río Piraí, located in the Santa Cruz de la Sierra municipality, between the years 2001-2021 and its relationship with legal protection factors to generate knowledge about patterns of forest change and the impact on the landscape that contribute to correct management, control and conservation of the area. Data generated by Global Forest Watch was used, extracted using Google Earth Engine and managed within ArcMap. For the statistical analysis, two temporal strata were considered: *i.* Initial (2001-2010), prior to the promulgation of OM N° 150/2009, which declares the Cordón Ecológico as a municipal protected area and *ii.* Final (2011-2021), which corresponds to the period over which it was legally protected by said OM. The temporal behavior of the loss of tree cover was analyzed using Spearman correlation ($\alpha= 0,05$) made between values of loss and years of study, and also the values were contrasted of loss between temporal strata using the Mann-Whitney U test and with a generalized linear model ($\alpha= 0,05$). From 2001 to 2021, the Cordón Ecológico suffered an accumulated loss of tree cover of 234,91 hectares (average loss of 11,19 hectares/year $\pm 9,55$), which represents a decrease of 23,39% of the forest cover that existed in the year 2000 (1004,20 ha). The highest loss peaks were recorded for 2008 (32,01 ha), 2012 (25,04 ha) and 2019 (37,12 ha). The loss trend over time was slightly positive ($\rho_{\text{Spearman}}= 0,03$) and statistically not significant ($p>0,05$). Similarly, there was no significant difference in the values of forest loss between both temporal strata ($p>0,05$). It was concluded that the decrease in the tree cover within the Cordón Ecológico del Río Piraí has been maintained over time despite past and existing protection regulations.

Key Words: Santa Cruz de la Sierra, Urban Growth, Land Use, Global Forest Watch.

INTRODUCCIÓN

La expansión de la mancha urbana a nivel mundial es un factor de preocupación en la actualidad (Bekessy *et al.* 2012, Da Silva & Cardozo 2015), ya que, es una causante de la transformación y degradación de los ecosistemas producto del cambio de uso de suelo. Esto trae consigo una serie de efectos indeseados que se producen a nivel del paisaje afectado (disminución de áreas de recarga acuífera, disminución de la biodiversidad, erosión e improductividad de los suelos, entre otros; Angeoletto *et al.* 2015, Hettiarachchi *et al.* 2014, Palomeque *et al.* 2017). Por ello, el desarrollo urbanístico se considera como una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad a escala global (Cordero *et al.* 2015, Fernández 2019).

Considerando que los efectos negativos producidos por el crecimiento urbano no solo conllevan significativas consecuencias para la diversidad biológica, sino también para los servicios ecosistémicos que esta brinda y que son fundamentales para el bienestar del ser humano (CBD 2012), la situación se torna alarmante principalmente para América Latina debido a que, se la proyecta para el año 2050 como la región más urbanizada del mundo (Fernández 2019). Lo anterior es preocupante a nivel de la continuidad de los bienes y servicios

ecosistémicos urbanos debido a que, esta región por lo general no posee una planificación territorial relacionada con la conservación del medio ambiente (Fernández 2019).

Dentro de Bolivia y puntualmente en el departamento de Santa Cruz, la situación no es distinta, debido a que tiene el mayor crecimiento en términos demográficos y económicos, siendo su capital, la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, el epicentro que recibe altas tasas de inmigración desde distintos lugares del territorio nacional (INE 2018) y es considerada como la capital económica e industrial de Bolivia (Carrasco-Pereira 2018). Evidentemente, este desarrollo socio-económico atrae una disminución progresiva de la cobertura vegetal debido a la constante habilitación de tierras urbanizables, lo cual se agrava al considerar que el avance de la mancha urbana se viene dando sin una debida planificación, lo que no afecta únicamente a los ecosistemas urbanos, sino también a los periurbanos, que cada vez y en mayor medida se ven mermados debido a las actividades de desarrollo antrópico (Carrasco-Pereira 2018).

Estos ambientes periurbanos, al ser áreas de transición entre la naturaleza y la ciudad, son espacios de gran interés para su conservación debido a los bienes y servicios ambientales que aportan para la matriz antrópica (Fernández 2019), siendo quizás el de mayor importancia para Santa Cruz de la Sierra el denominado Cordón Ecológico del río Piraí (ribera del río que pertenece al municipio de Santa Cruz de la Sierra), debido a su importante rol como regulador de las crecidas del río Piraí. Sin embargo, es evidente que este cordón ecológico se encuentra fuertemente impactado por diversas actividades antrópicas, así como el avance de la infraestructura, pérdida de defensivos naturales y pérdida de cobertura arbórea (Mazoni 2005, Carrasco-Pereira 2018). Esta realidad se atribuye principalmente debido a que, como una constante histórica, la ciudad jamás consideró a las riberas del Piraí como parte de su estructura urbana (Mazoni 2005).

No obstante, la información técnica-científica disponible sobre el cambio de uso de suelo en el Cordón Ecológico del río Piraí es altamente limitada; al momento de redactar este manuscrito no se conoce de producción científica alguna que aborde la temática. Únicamente se conoce una tesis de maestría (Carrasco-Pereira 2018), que evaluó la dinámica de cobertura de la tierra del cordón ecológico (periodo temporal de 2002 a 2018) y evidenció que, la pérdida de cobertura arbórea es una preocupación constante para su conservación. Con estos antecedentes, el presente estudio analizó la pérdida de cobertura arbórea en el Cordón Ecológico del río Piraí (periodo 2001-2021), perteneciente al municipio de Santa Cruz de la Sierra y su relación con factores legales de protección. Este análisis pretende generar conocimiento sobre patrones de cobertura arbórea y la afectación sobre el paisaje para así aportar en la correcta gestión, control y conservación de este Parque de Protección Ecológica de suma importancia para nuestra ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y clima del área de estudio

El cordón ecológico se extiende sobre 1600 ha y se ubica al oeste del municipio Santa Cruz de la Sierra (Santa Cruz, Bolivia; Figura 1). Forma parte del cinturón ecológico del río Pirai que se encuentra en la parte media del sistema fluvial y pertenece a la vertiente oriental y subsistema Ichilo-Mamoré, ubicado en la parte más sureña de la hidroecorregión de las llanuras aluviales pluviestacionales de Santa Cruz (Suárez-Subirana 2018). Biogeográficamente se encuentra representado principalmente por la región Amazónica, pero también posee zonas en las cuales ingresa la región Chiquitana.

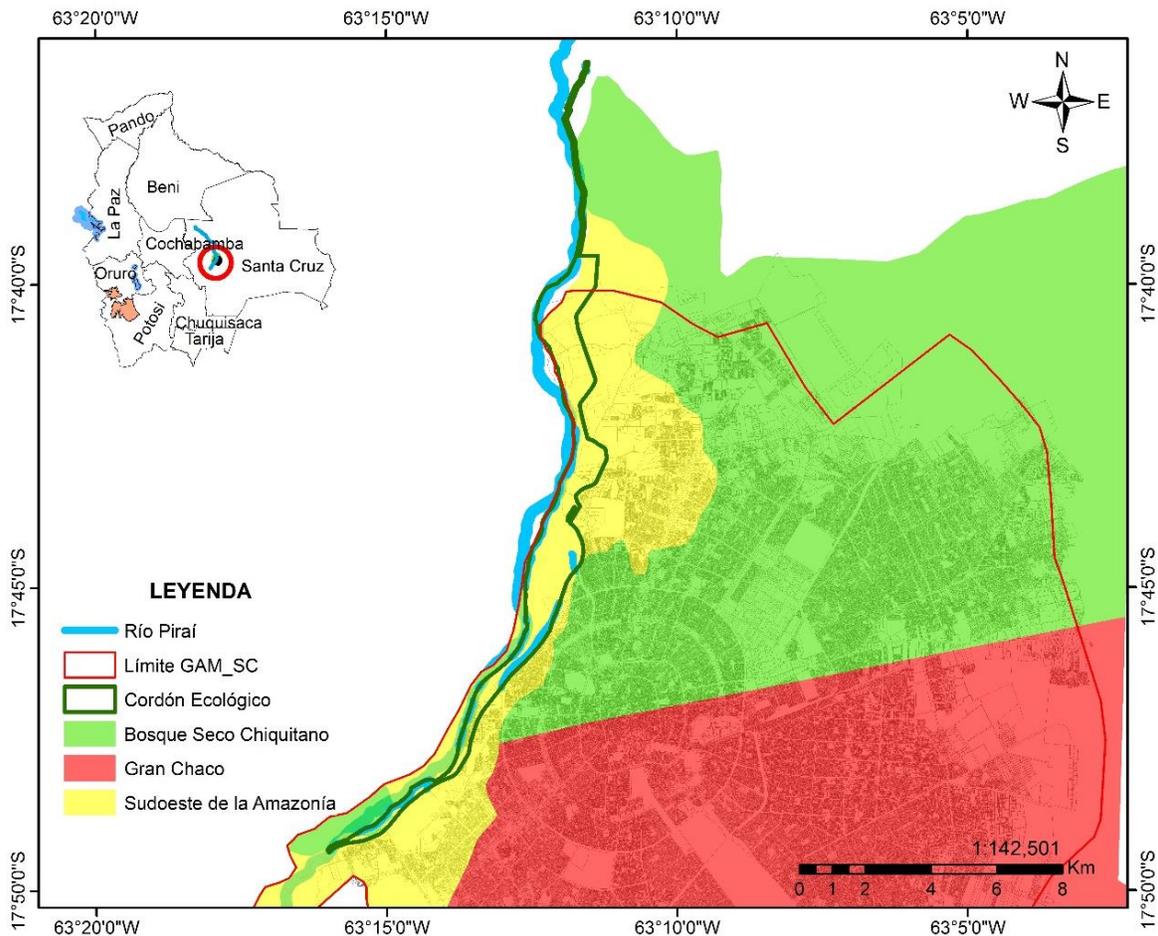


Figura 1. Ubicación del cordón ecológico en el municipio de Santa Cruz de la Sierra, departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Respecto al clima, según el Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) que contiene los datos de la estación meteorológica del aeropuerto internacional Viru Viru (<http://senamhi.gob.bo/index.php/sismet>), actualmente la más cercana al área de estudio, la precipitación promedio anual estimada entre los años 1984 y 2017 asciende a 1379 mm ($\pm 50,53$ mm). Así también, la temperatura promedio anual oscila en torno a 24,21 °C ($\pm 5,66$ °C).

°C), con temperaturas máximas de 31,5 °C y mínimas de 15 °C. Según la distribución mensual de precipitación y temperatura a lo largo del año, se distingue claramente la dominancia de un periodo húmedo, únicamente presentándose un muy breve periodo seco durante agosto.

Situación jurídica

El cordón ecológico tiene una larga historia de protección legal en favor de su conservación (ver Carrasco-Pereira 2018 para más detalles). Se cita como los sucesos más relevantes la promulgación de la Ley N° 2913 del 18 de noviembre del 2004, que declaró como “Parque Ecológico Metropolitano Pirai” a todas las riberas del río dentro de los municipios de la metrópoli de Santa Cruz (Santa Cruz de la Sierra, Montero, Warnes, Porongo, La Guardia y El Torno), y la creación de la Ordenanza Municipal (OM) N° 150/2009, promulgada el 13 de enero de 2010, a través de la cual se establecía al área como “Parque de Protección Ecológica del Río Pirai del Municipio de la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra” con una superficie aproximada de 1600 ha.

Actualmente, esta ordenanza ha sido abrogada por la Ley Municipal N° 1434 del 23 de abril de 2021 denominada como “Ley de protección y conservación del área protegida del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Pirai” que tiene por objeto proteger, conservar y delimitar el Bosque de Protección congruente al curso de agua del río Pirai declarado como Área Protegida “Parque Metropolitano de Protección Ecológica del río Pirai”.

Obtención de datos de pérdida de cobertura arbórea

Para determinar la pérdida de cobertura arbórea ocurrida en el cordón ecológico, durante el periodo 2001-2021, se utilizaron los datos de Global Forest Watch (<https://www.globalforestwatch.org/>) en asociación con el laboratorio Global Land Analysis and Discovery de la Universidad de Maryland (<https://glad.umd.edu/>), quienes se basan en la información publicada inicialmente por Hansen *et al.* (2013). Este conjunto de datos proviene de imágenes Landsat de 30 metros de resolución, tomándose tres variables para ser consideradas en este estudio; *i*: Cobertura arbórea del año 2000 (treecover2000), que corresponde a la cobertura del dosel producida por vegetación de más de cinco metros de altura, *ii*: Pérdida de bosque (loss), que se define como el cambio de estado forestal a no forestal para el periodo 2001-2021 en general, y *iii*: Pérdida de bosque anual (lossyear), considerada como la pérdida forestal para cada año, donde 0 significa (sin pérdida) y de 1 a 21, representa la pérdida para cada año. Todos los datos fueron obtenidos a través de la plataforma Google Earth Engine (Gorelick *et al.* 2017) y se encuentran disponibles en la página web de Earth Engine Data Catalog.

Procesamiento y análisis de datos

Todo el manejo cartográfico y la creación de los mapas resultantes fueron realizados con ArcMap v.10.4 (ESRI 2011). Los datos de pérdida de cobertura arbórea obtenidos para el área de estudio fueron divididos en dos estratos temporales; *i*: Inicial, que abarca el periodo

2001-2010 y corresponde a un intervalo temporal previo a la consolidación del cordón ecológico como “Parque de Protección Ecológica del Río Piraí del Municipio de la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra” y *ii*: Final, periodo 2011-2021 que representa lo sucedido posteriormente del establecimiento como Parque al área de estudio. Esto con la finalidad de determinar si la OM N° 150/2009 (abrogada el 23 de abril de 2021) generó realmente un beneficio positivo en favor de la conservación de la cobertura boscosa existente al interior del cordón ecológico.

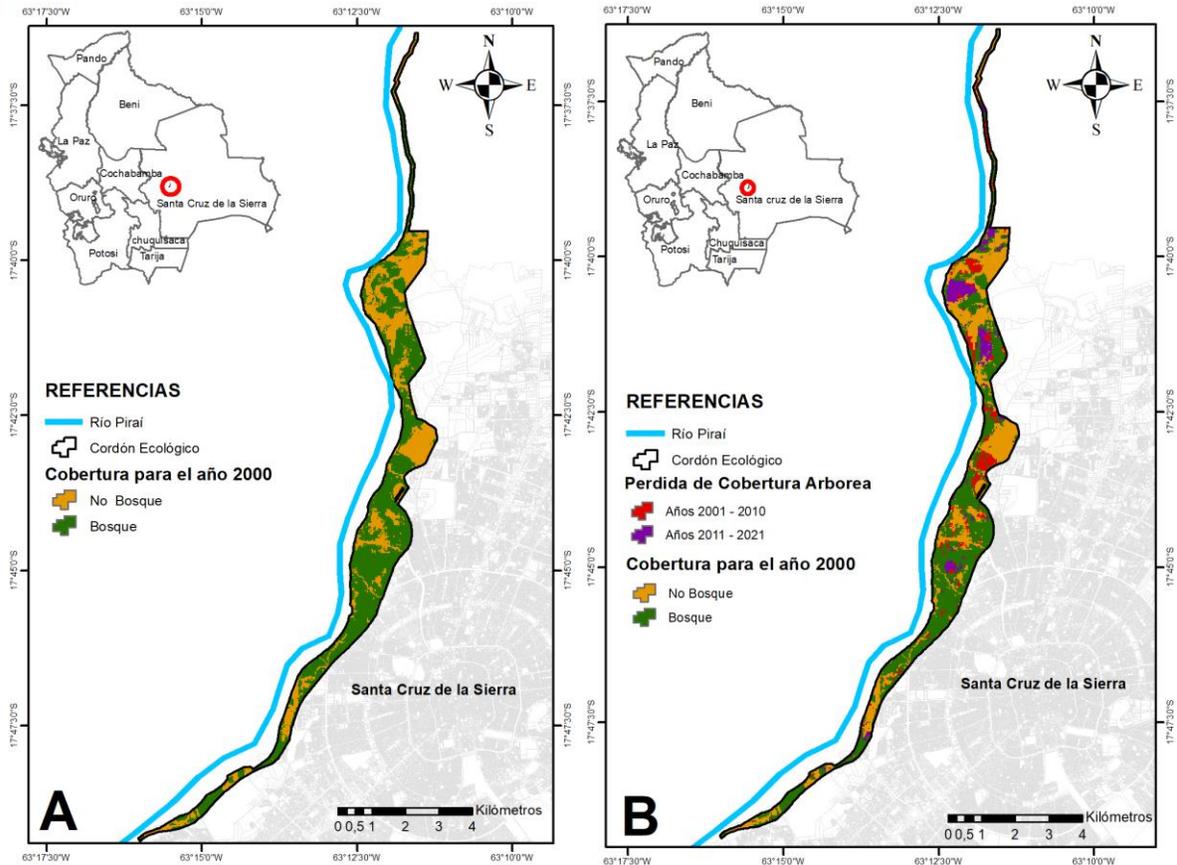
Se realizó un análisis del comportamiento temporal de la pérdida de cobertura boscosa considerando los valores de deforestación determinados para cada año, como también tomando en cuenta un promedio móvil de tres años con base en lo sugerido por Hansen *et al.* (2013), como un filtro temporal útil para detectar tendencias. Este análisis se realizó con el paquete Forecast versión 8.14 (Hyndman & Khandakar 2008, Hyndman *et al.* 2021) y fue graficado mediante ggplot2 versión 3.3.3 (Wickham 2016). Así también, se realizó un análisis de correlación de Spearman ($\alpha=0,05$) entre los años y la deforestación, con base en los valores del promedio móvil trienal, para determinar la fuerza de asociación entre ambas variables.

Los valores de pérdida forestal determinados para ambos estratos temporales fueron contrastados estadísticamente mediante una prueba U de Mann-Whitney ($\alpha=0,05$), el tamaño de efecto se determinó mediante el rango biserial de Glass (Glass 1966) y su interpretación se realizó con base en lo propuesto por Cohen (1988). Finalmente, se concluyó con la ejecución de un modelo lineal generalizado (GLM; $\alpha=0,05$) para establecer la tasa de cambio de la cobertura arbórea en función de los estratos temporales establecidos; estos análisis se realizaron con el paquete ggstatsplot (Patil 2021). Todos los análisis estadísticos se realizaron con lenguaje R versión 4.0.2 (R Core Team 2021), utilizando el entorno de desarrollo integrado RStudio versión 1.2.1335 (RStudio Team 2021).

RESULTADOS

Respecto a la cobertura arbórea existente en el Cordón Ecológico del río Piraí para el año 2000 (Figura 2A) se determinó que, esta se extendía sobre 1004,20 ha (62,76%), mientras que la no arbórea abarcaba 595,80 ha (37,24%); lo cual evidencia la existencia de una presión histórica sobre la cobertura arbórea en el área de estudio. Con relación a la pérdida de cobertura arbórea se constató que, en general hasta el 2021 ocurrió una pérdida total acumulada de 234,91 ha aproximadamente (11,19 ha/año $\pm 9,55$), que representa una disminución del 23,39% de la cobertura boscosa que existía en el año 2000.

Considerando los dos estratos temporales definidos en este estudio, 117,54 ha (50,03%) fue la pérdida acumulada de cobertura boscosa para el periodo inicial (2001-2010), que representa al intervalo temporal previo a la OM N° 150/2009. Por su parte, para el periodo final (2011-2021, posterior a la promulgación de la OM), se detectó una pérdida de 117,38 ha (49,97%) de cobertura boscosa, evidenciándose una diferencia de 0,16 ha en la pérdida acumulada para el periodo final con relación a lo determinado para el inicial (Fi

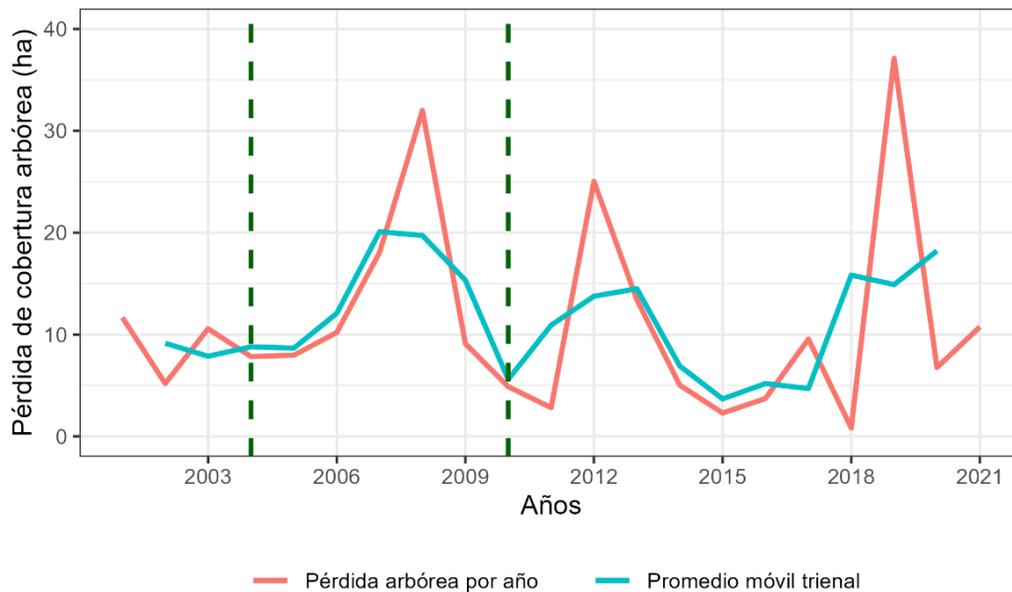


gura 2B).

Figura 2. A= Cobertura vegetal del cordón ecológico determinada para el año 2000, **B=** Pérdida de cobertura arborea para los dos estratos temporales delimitados en el estudio. En el enclave se indica la posición del área de estudio dentro de Santa Cruz y Bolivia.

Teniendo en cuenta el comportamiento temporal de la pérdida de cobertura arborea se determinó que, los valores anuales y los calculados por el promedio móvil trienal demostraron una similar tendencia, registrándose un comportamiento no estacionario y una alta variabilidad a través del tiempo. Los mayores picos de pérdida arborea se registraron para el 2008 (32,01 ha), 2012 (25,04 ha) y 2019 (37,12 ha), abarcando entre ellos el 40,09% del total de pérdida ocurrida en el cordón ecológico durante los últimos 21 años (Figura 3A). La tendencia de pérdida de cobertura arborea a través del tiempo fue levemente positiva ($\rho_{\text{Spearman}} = 0,03$) y estadísticamente no significativa ($p > 0,05$, Figura 3B).

A



B

$S = 1110.00$, $p = 0.91$, $\hat{\rho}_{\text{Spearman}} = 0.03$, $CI_{95\%} [-0.44, 0.49]$, $n_{\text{pairs}} = 19$

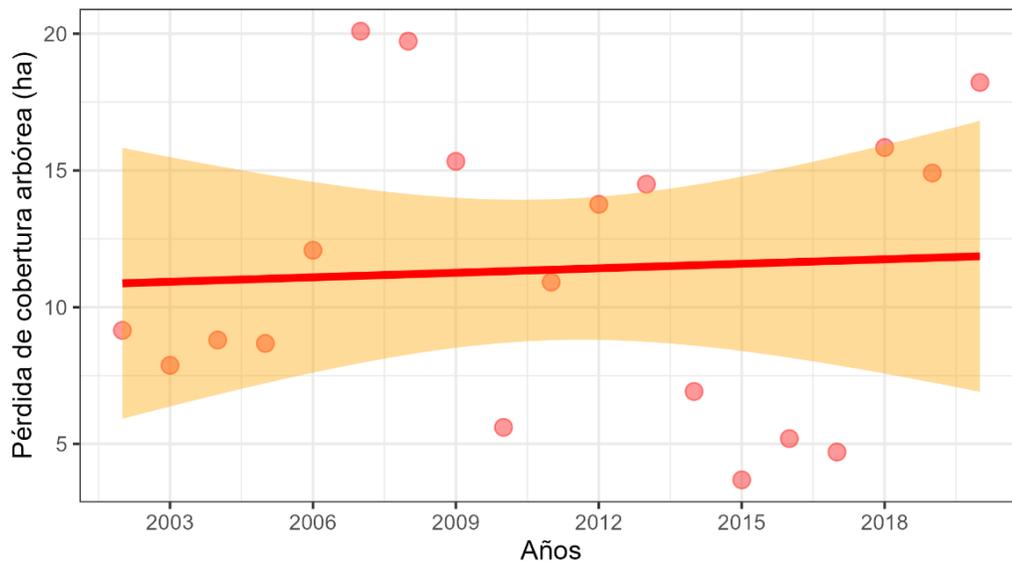


Figura 3. A) Comportamiento temporal de la pérdida de cobertura boscosa; las líneas cortadas verticales de color verde indican los años en que se dio protección legal al cordón ecológico (Ley 2913 y OM 150/2009, respectivamente), **B)** Correlación entre pérdida de cobertura boscosa y años.

Finalmente, se determinó que, si bien el valor típico de pérdida de cobertura boscosa dentro del cordón ecológico para el periodo previo a la existencia de la OM N° 150/2009 (inicial) fue mayor que lo registrado para el periodo posterior (final), la diferencia detectada no

resultó ser estadísticamente significativa ($p > 0,05$), siendo catalogada como pequeña conforme al tamaño del efecto ($r_{biserial}^{rancho} = 0,24$; Figura 4). Lo anterior fue corroborado con el GLM, que determinó que la promulgación de la OM no tuvo un efecto significativo en la disminución de la pérdida de cobertura boscosa al interior del cordón ecológico ($\beta = -1,06$, $t = -0,44$, $p = 0,66$, $AIC = 121$).

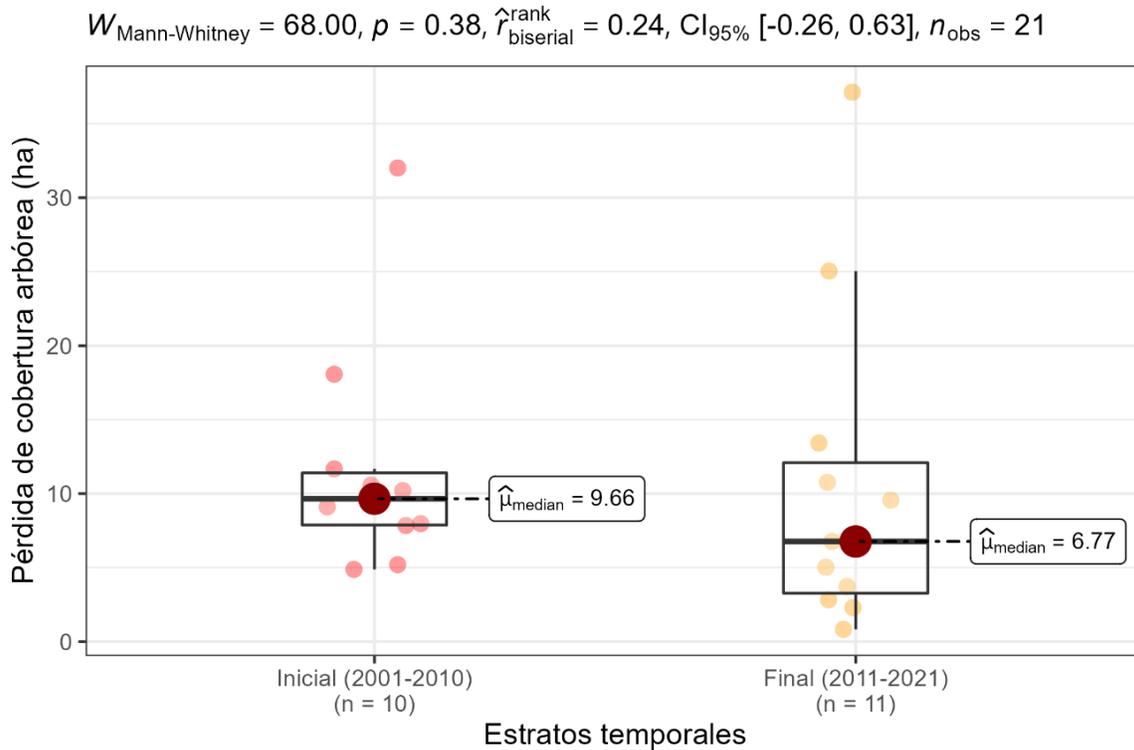


Figura 4. Contraste descriptivo e inferencial de valores de pérdida de cobertura forestal entre estratos temporales definidos en el estudio con relación a la promulgación de la Ordenanza Municipal 150/2009.

DISCUSIÓN

La existencia de una fuerte presión sobre la cobertura arbórea del Cordón Ecológico del río Pirá para los años previos al 2000, expuesta en este manuscrito, concuerda con Carrasco-Pereira (2018), quien expresó que, el área de estudio ya se encontraba intervenida por asentamientos y actividades humanas desde muchos años antes, identificando así a la actividad antrópica como la principal causa de pérdida de cobertura arbórea para el cordón ecológico. Esta es una tendencia que ocurre en todo el departamento de Santa Cruz. Un estudio desarrollado por Maillard *et al.* (2020) en Santa Cruz refleja que, entre los años 1986 y 2019 ocurrió una considerable reducción de la cobertura natural por causas antrópicas y que esta presión sobre los ecosistemas naturales en el departamento se originó desde la década de los 50's, reconociendo al cambio de uso de suelo, por el avance de la frontera urbana, como uno de los factores principales.

Por otro lado, el que los valores de pérdida de cobertura boscosa no disminuyeran en el cordón ecológico a través del tiempo (del año 2001 al 2021), manteniéndose estadísticamente similares entre ambos estratos temporales estudiados (inicial y final), evidencia que la promulgación de la OM N° 150/2009 no generó un beneficio de impacto en favor de su conservación. Esto es importante considerar ya que, para conservar los ecosistemas naturales urbanos o periurbanos es necesario integrarlos en la planificación de las ciudades, a través de corredores ecológicos o espacios de conservación (Carrasco-Pereira 2018), sin embargo, es evidente que estas acciones sin medidas apropiadas de monitoreo y fiscalización no son suficientes (Suárez-Subirana 2018).

Entre las actividades antrópicas de mayor presión e importancia que provocan la pérdida de cobertura arbórea al interior del cordón ecológico se citan al desmonte para la habilitación de campos agrícolas, para áreas de laboreo de extracción de áridos, la construcción de viviendas y la apertura de caminos (Gutiérrez *et al.* 2020). Esto facilita la existencia de una red de accesos que favorece la existencia de actividades antrópicas (Gavier & Bucher 2004). Es importante reconocer que, estas actividades se desarrollan tanto en propiedades privadas como no privadas al interior del área de estudio, ya que, según Carrasco-Pereira (2018), al menos el 46% del cordón ecológico corresponde a propiedades privadas (considerando las propiedades aprobadas desde el año 1979 hasta el 2016); por tanto, puede representar solo un límite inferior en el valor real).

En cuanto a aspectos legales, se debe considerar que las actividades de mayor presión identificadas van en contradicción no solo de la OM N° 150/2009, sino también a lo establecido en el Plan de Uso de Suelo (PLUS) del departamento de Santa Cruz (GAD-SCZ 2009). Este PLUS, aunque algo desactualizado, sitúa al cordón ecológico en la categoría de Tierras de Uso Restringido, en la subcategoría de Bosques de Protección principalmente, donde no está permitida la agricultura, la ganadería, el desmonte mecanizado, la otorgación de tierras, el aprovechamiento forestal, los asentamientos humanos y la construcción de caminos es considerada una actividad limitada. Esto es una evidencia más que demuestra que los esfuerzos legales en favor de un adecuado ordenamiento territorial y la conservación de la cobertura natural por sí solos son insuficientes y, además, expone la falta de monitoreo y control para hacer cumplir los aspectos legales que rigen dentro de los límites del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del río Piraiá.

Finalmente, se destaca la importancia de priorizar esfuerzos de gestión, monitoreo y control del cambio de uso de suelo al interior del Cordón Ecológico del río Piraiá. No únicamente por la importancia socio-ambiental que cumple (amortiguamiento frente a crecidas del río, regulador de procesos hídricos y climáticos locales, atractivo turístico y de recreación; Flores *et al.* 2018, Fernández 2019), sino también porque se constituye en un refugio vital para la flora y fauna cruceña (Flores *et al.* 2018, Gutiérrez *et al.* 2020). Siendo lo anterior importante para mantener la conectividad ecológica a escala de paisaje que, es prioritaria para garantizar esfuerzos de conservación de la biodiversidad y de sus funciones y los servicios ambientales a nivel departamental (Maillard *et al.* 2020).

CONCLUSIONES

Para el año 2000 se evidenció que la cobertura boscosa del Cordón Ecológico del río Piraí se extendía sobre el 62,76% de la superficie del área, lo cual sugiere la existencia de un cambio de uso de suelo ocurrido previo a ese año. Desde el 2001 al 2021 la pérdida acumulada de cobertura boscosa fue de 234,91 ha, representando una pérdida promedio de 11,19 ha por año. Los valores de pérdida de cobertura boscosa fueron estadísticamente similares a través del tiempo y no se diferenciaron significativamente después de la determinación del cordón ecológico como “Parque de Protección Ecológica del Río Piraí del Municipio de Santa Cruz de la Sierra”. Esto demuestra que, la disminución de la cobertura boscosa se ha mantenido en el tiempo a pesar de las normativas de protección.

Este estudio se constituye en la base para futuras indagaciones que puedan utilizar productos cartográficos, ya creados y disponibles como los de Global Forest Watch o MapBiomas Bolivia recientemente lanzado (<https://bolivia.mapbiomas.org/>), para evaluar la pérdida de cobertura arbórea en Bolivia. Por lo que se recomienda extender el análisis a todas las riberas del río relacionadas con los municipios de la metrópoli de Santa Cruz (Santa Cruz de la Sierra, Montero, Warnes, Porongo, La Guardia y El Torno), considerando que, también se encuentran presionadas por actividades antrópicas. En estos nuevos estudios es imprescindible revisar la compatibilidad del PLUS departamental con relación a lo que existe realmente en el terreno. Finalmente, se espera que este manuscrito despierte la curiosidad y genere motivación a los investigadores cruceños de diferentes ramas del conocimiento (ambientales, biólogos, sociólogos, abogados, entre otros) para generar mayor información que pueda ser de utilidad no solo para reconocer la importancia de la existencia del Cordón Ecológico del río Piraí para la sociedad cruceña, sino también para aportar a su conservación.

LITERATURA CITADA

- Angeoletto, F., C. Essy, J.P.R. Sanz, F.F. Da Silva, R.M. Albertin & J.W.M. Santos. 2015. Ecología urbana: La ciencia interdisciplinaria del Planeta Ciudad. *Desenvolvimento em Questão* 13(32): 6–20.
- Bekessy, S.A., M. White, A. Gordon, A. Moilanen, M.A. McCarthy & B.A. Wintle. 2012. Transparent planning for biodiversity and development in the urban fringe. *Landscape and Urban Planning*, 108: 140–149.
- Carrasco-Pereira, P. 2018. Análisis multitemporal de la dinámica de cobertura de la tierra en el Parque de Protección Ecológica del río Piraí del municipio de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2012. *Cities and biodiversity outlook*. Montreal.
- Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

- Cordero, P., S. Vanegas & M. Hermida. 2015. La biodiversidad urbana como síntoma de una ciudad sostenible. Estudio de la zona del Yanuncay en Cuenca, Ecuador. *Maskana* 6(1): 1–24.
- Da Silva, C.J. & O.D. Cardozo. 2015. Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 16: 23–40.
- ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fernández, I.C. 2019. 100 medidas para la conservación de la biodiversidad en entornos urbanos. SEO/BirdLife, Madrid.
- Flores, B., E. Cortez & S. Rojas. 2018. Bioindicadores periurbanos y centros de control para el monitoreo de la calidad medio ambiental en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia. *Tesape Arandu* 35: 2–26.
- GAD-SCZ (Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz). 2009. Plan de Uso del Suelo (PLUS) – Santa Cruz. Secretaría Departamental de Desarrollo Sostenible, Dirección de Ordenamiento Territorial y Cuencas, Santa Cruz de la Sierra.
- Gavier, G.I. & E.H. Bucher. 2004. Deforestación de las Sierras Chicas de Córdoba (Argentina) en el período 1970-1997. *Academia Nacional de Ciencias* 101:1–27.
- Glass, G.V. 1966. Note on rank biserial correlation. *Educational and Psychological Measurement* 26: 622–631.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau & R. Moore. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202:18–27.
- Gutiérrez, E.K., D. García, M.A. Pinto-Viveros & E. Caballero. 2020. Registro de dos ositos de oro (*Cyclopes gray*, 1821) en el cordón ecológico del río Piraí, Santa Cruz de la Sierra (Bolivia) y aportes para su conservación. *Kempffiana* 16(2): 35–46.
- Hansen, M.C., P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice & J.R.G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342: 850–853.
- Hettiarachchi, M., T.H. Morrison, D. Wickramasinghe, R. Mapa, A. De Alwis, & C. Mcalpine. 2014. The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. *Landscape and Urban Planning* 132: 55–68.
- Hyndman, R., G. Athanasopoulos, C. Bergmeir, G. Caceres, L. Chhay, M. O'hara-Wild, F. Petropoulos, S. Razbash, E. Wang & F. Yasmeeen. 2021. forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.14. <https://pkg.robjhyndman.com/forecast/>. Acceso en marzo de 2022.
- Hyndman, R.J. & Y. Khandakar. 2008. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software* 26(3): 1–22.

- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2018. Bolivia cuenta con más de 11 millones de habitantes a 2018. Instituto Nacional de Estadística Santa Cruz. <https://www.ine.gob.bo/index.php/bolivia-cuenta-con-mas-de-11-millones-de-habitantes-a-2018/> Acceso en agosto de 2020.
- Ley N° 2913/2004 del 18 de noviembre del 2004. Honorable Congreso Nacional. <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo>. Acceso en agosto de 2020.
- Ley Autonómica Municipal GAM-SCS N° 1434/2021 del 23 de abril 2021. Ley de protección y conservación del área protegida del Parque Metropolitano de Protección Ecológica del Río Piraí. <http://concejomunicipalscz.gob.bo>. Acceso en mayo de 2022.
- Maillard, O., R. Anívarro & M. Flores-Valencia. 2020. Pérdida de la cobertura natural (1986-2019) y proyecciones de escenarios a futuro (2050) en el departamento de Santa Cruz. Informe técnico del Observatorio Bosque Seco Chiquitano, Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Santa Cruz de la Sierra.
- Mazoni, M. 2005. Santa Cruz de la Sierra, una ciudad que busca espacio. Ciudades 9: 35-160.
- OM (Ordenanza Municipal) N° 150/2009 del 13 de enero de 2010. Honorable Consejo Municipal de Santa Cruz de la Sierra. <http://concejomunicipalscz.gob.bo>. Acceso en agosto de 2020.
- Palomeque, M.A., A. Galindo, A. Sánchez & M. Escalona. 2017. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. Investigaciones Geográficas 68: 151-172.
- Patil, I. 2021. Visualizations with statistical details: The “ggstatsplot” approach. Journal of Open Source Software 6(61): 3167.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>, acceso en agosto de 2020.
- RStudio Team. 2021. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston. <https://www.rstudio.com/> Acceso en agosto de 2020.
- Suárez-Subirana, R.Y. 2018. El río como eje vertebrador ecosocial metropolitano: El Río Piraí de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). Barcelona.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/> Acceso en septiembre de 2021.

Manuscrito recibido en diciembre 2022

Manejado por Robin Chazdon

Aceptado en marzo 2023