

Cambios espacio-temporales de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey, Nuevo León

Spatio-temporal changes of riparian vegetation in the Monterrey hydrological subbasin, Nuevo León

María Cecilia Hernández-Cavazos¹  • Eduardo Alanís-Rodríguez¹  • Rufino Sandoval-García² 
• Víctor Manuel Molina-Guerra³  • Javier Jiménez-Pérez¹ 
• Oscar Alberto Aguirre-Calderón¹  • Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez¹ 

Recibido: 30/09/2024

Aceptado: 16/12/2024

Abstract

The objective of this study was to determine the changes in the coverage of riparian vegetation in the Monterrey hydrological subbasin, considering four time periods: 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 and 1995-2022, to know the dynamic temporal space to lay the foundations for protection and conservation strategies by decision makers. Orthophotos and high-resolution satellite images Airbus Defense and Space, GeoEye-1 and Birdseye, as well as the supervised classification method and field validation were used to generate the land use and vegetation change maps. The net change, the annual rate of area loss and the relative change rate were determined. In 27 years (1995-2022) 805.06 hectares of riparian vegetation were lost. The period 2008-2014 presented the greatest loss of surface area (-67.22 ha/year), contrary to the period 2014-2022, which only experienced a loss of -1.53 ha/year. The relative change rate of riparian vegetation for the entire study period (1995-2022) was -0.29 %, while for soil without vegetation it was 0.45 %. In the period 2008-2014, the highest rate of change occurred (-0.66 %), while in the period 2014-2022 it was only -0.02 %. The results of this study can serve as a basis for the establishment of conservation actions that allow maintaining this trend in the condition of the riparian vegetation cover; as well as contribute to future studies of this plant community in Mexico.

Keywords: Multitemporal analysis, vegetation cover, satellite images, rate of change, Mexico, riparian forest.

1. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales; Ciudad de Linares, Nuevo León, México; hernandezcavazos@gmail.com, eduardoforestal@gmail.com, jjimenez20@gmail.com, oaguirre16@gmail.com, ntomolab@gmail.com
2. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal; Ciudad de Saltillo, Coahuila, México; rufino.sandoval.garcia@gmail.com
3. RENAC, S.A. de C.V. Asesorías Ambientales, S.A. de C.V., Ciudad de Linares, Nuevo León, México. vmolinaguerra@gmail.com

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar los cambios en la cobertura de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey, considerando cuatro períodos de tiempo: 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 y 1995-2022, con el fin de conocer la dinámica espacio temporal para sentar las bases en las estrategias de protección y conservación por parte de los tomadores de decisiones. Se obtuvieron ortofotos e imágenes satelitales de alta resolución Airbus Defence and Space, GeoEye-1 y Birdseye, así como el método de clasificación supervisada y la validación en campo para generar los mapas de cambio de uso de suelo y vegetación. Se determinaron el cambio neto, la tasa anual de pérdida de superficie y la tasa de cambio relativo. En 27 años (1995-2022) se perdieron 805,06 ha de vegetación ribereña. El período 2008-2014 presentó la mayor pérdida de superficie (-67,22 ha/año), contrario al período 2014-2022 que sólo experimentó una pérdida de -1,53 ha/año. La tasa de cambio relativo de la vegetación ribereña para todo el período de estudio (1995-2022) fue de -0,29 %, mientras que para el suelo desprovisto de vegetación fue de 0,45 %. En el período 2008-2014 se presentó la mayor tasa de cambio (-0,66 %), mientras que en el período 2014-2022 tan sólo fue de -0,02 %. Los resultados de este estudio pueden servir de base para el establecimiento de acciones de conservación que permitan mantener esta tendencia en la condición de la cobertura de la vegetación ribereña; así como contribuir para futuros estudios de esta comunidad de vegetación en México.

Palabras clave: Análisis multitemporal, cobertura de vegetación, imágenes satelitales, tasa de cambio, México, bosque ripario.

Introducción

El cambio en el uso del suelo y cobertura de vegetación genera diversos impactos en la estructura, composición y dinámica de los sistemas ecológicos, a diferentes escalas espacio-temporales [1]. Entre los factores naturales se encuentran los procesos de sucesión ecológica, variaciones meteorológicas y fenómenos geológicos; mientras que entre los factores antropogénicos están los aspectos demográficos, sociales y económicos [2], [3].

En México, el crecimiento poblacional, la expansión de la frontera agropecuaria y la urbanización, se han considerado dentro de las principales causas de transformación por cambios en el uso de suelo [4], [5], [3].

En la subcuenca hidrológica Monterrey al coincidir geográficamente con el Área Metropolitana de Monterrey

(AMM), el acelerado crecimiento demográfico y la acción humana han alterado su integridad ecológica. Dentro de las actividades que impactan a la subcuenca están: las descargas de aguas residuales, los tiraderos de basura, escombros y desechos industriales [6]; los incendios y plagas forestales [7]; las actividades de explotación no controlada de recursos forestales y el cambio de uso de suelo [8]; los asentamientos irregulares en los márgenes de los ríos y arroyos [6]; así como la presencia de especies exóticas y actividades recreativas sin ordenamiento [9]; entre otros.

El crecimiento de asentamientos humanos en esta zona a partir de la década de los sesenta y con mayor intensidad en los últimos años, ha requerido que los diferentes órganos de gobierno, tomen medidas en materia de desarrollo urbano, ordenación territorial y preservación del medio ambiente [10]; siendo las Áreas Naturales Protegidas (ANP) un instrumento de política pública para hacer frente a las tendencias en los cambios en el uso de suelo y la cubierta vegetal, además de permitir la conservación de los recursos [5]. Para conocer la efectividad de la conservación de esta área, es importante desarrollar investigaciones que evalúen el cambio de la cobertura vegetal en las últimas décadas. Considerando que el mantenimiento y la conservación de las áreas verdes urbanas es uno de los principales desafíos para lograr ciudades sostenibles [11].

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar los cambios en la cobertura de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey, considerando cuatro períodos de tiempo: 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 y 1995-2022, con el fin de conocer la dinámica espacio temporal para sentar las bases en las estrategias de protección y conservación por parte de los tomadores de decisiones. La hipótesis es que través del tiempo la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey presenta pérdida de cobertura para convertirse en suelo desprovisto de vegetación.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio comprende la subcuenca hidrológica Monterrey (RH24Bf) que pertenece a la Región Hidrológica Río Bravo (RH24), en la cuenca Río Bravo-San Juan (B), subcuenca Río Santa Catarina (f). Se ubica entre las coordenadas geográficas 100° 41' 35" y 99° 56' 7" de longitud Oeste; y las coordenadas 25° 19' 10" y 25° 45' 16" de latitud Norte (Figura 1). Ocupa un área de 1 807 km², aproximadamente, abarcando los municipios de San Pedro Garza García, Santa Catarina, Santiago, Monterrey, Guadalupe, Juárez y Cadereyta en el estado de Nuevo León, México.

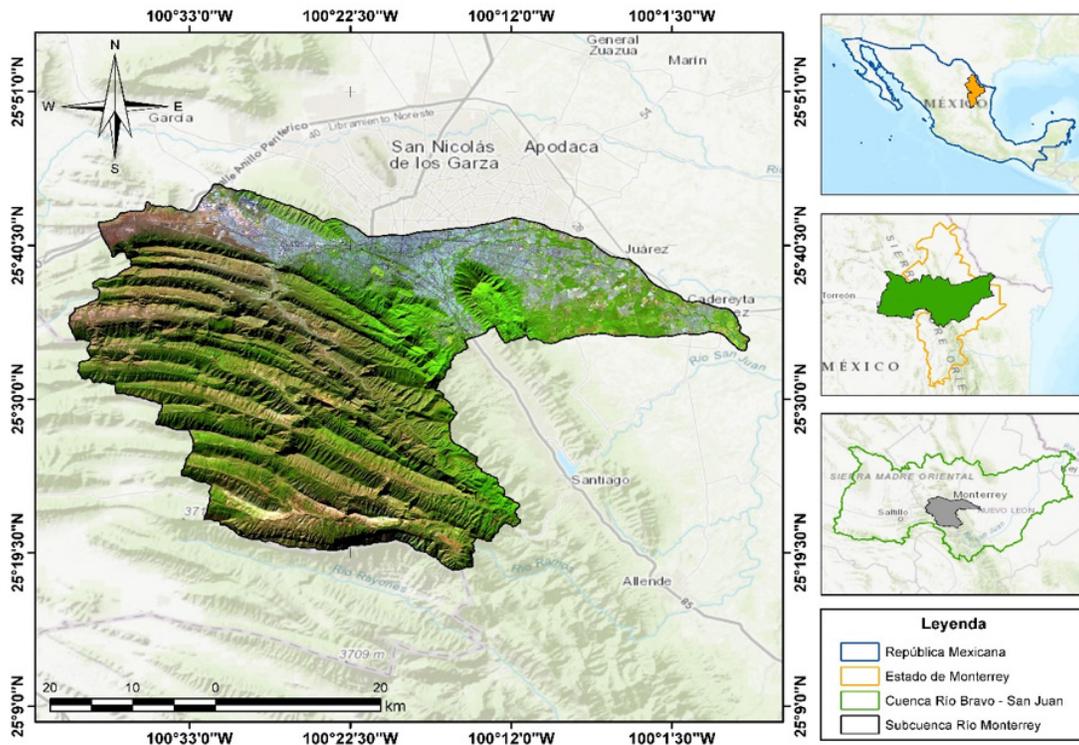


Figura 1. Localización de la subcuenca hidrológica Monterrey.

Figure 1. Location of the Monterrey hydrological subbasin.

Se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, subprovincias Sierras y Llanuras Coahuilenses y Gran Sierra Plegada [12]; así como en la provincia Llanura Costera del Golfo Norte, subprovincia Llanuras y Lomeríos. Con una variación altitudinal que fluctúa entre los 700 m.s.n.m. hasta los 3 400 m.s.n.m. [13]. El uso de suelo y cobertura vegetal son diversos; encontrando bosque, matorral, pastizal, área urbana y agrícola. Los suelos que prevalecen son los litosoles, principalmente en su parte alta [12]. La subcuenca Monterrey contribuye con una parte a la recarga de los acuíferos de los cuales se extrae agua para abastecer al Área Metropolitana de Monterrey (AMM); siendo éstos el acuífero AMM, Campo Buenos Aires, Campo Durazno y una porción al sur del acuífero Citrícola Norte [14]. La subcuenca comprende los ríos Santa Catarina (de tipo intermitente) y La Silla (de tipo perenne), así como los arroyos Obispo, El Calabozo, El Diente, La Virgen y Los Elizondo, en los cuales se forman comunidades de vegetación ribereña. Estas comunidades sobreviven principalmente por la humedad del suelo, por lo que predominan las plantas acuáticas, semiacuáticas, helechos, y los árboles muestran estructuras boscosas. Las especies se caracterizan por presentar hojas perennes o semidecíduas, las cuales pueden incluir epífitas o trepadoras; dentro de las especies representativas de estas comunidades se encuentran:

Taxodium mucronatum (Ten.). (sabino o ahuehuete), *Populus tremuloides* (Michx.), (alamillo), *Salix nigra* (Marshall), (sauce negro) y *Platanus occidentalis* (L.), (álamo) [15], [16].

Materiales

Las ortofotos se obtuvieron de la plataforma Espacios y Datos de México [17] y las imágenes satelitales de alta resolución Airbus Defence and Space, GeoEye-1 y Birdseye del “software” SASPlanet [18], ambas herramientas son de código abierto y permiten realizar la visualización y descarga de las imágenes de manera gratuita. Se generaron cuatro ortomosaicos compuestos por 23 ortofotos de 2 m/píxel (año 1995), 218 imágenes de Airbus Defence and Space de 0,57 m/píxel (año 2008), 460 imágenes de GeoEye-1 de 0,28 m/píxel (año 2014) y 460 imágenes Birdseye 0,28 m/píxel (año 2022).

Métodos

Para la clasificación de las imágenes, se utilizó el método de clasificación supervisada con una validación de 40 sitios de muestreo en campo, los cuales se distribuyeron de manera aleatoria.

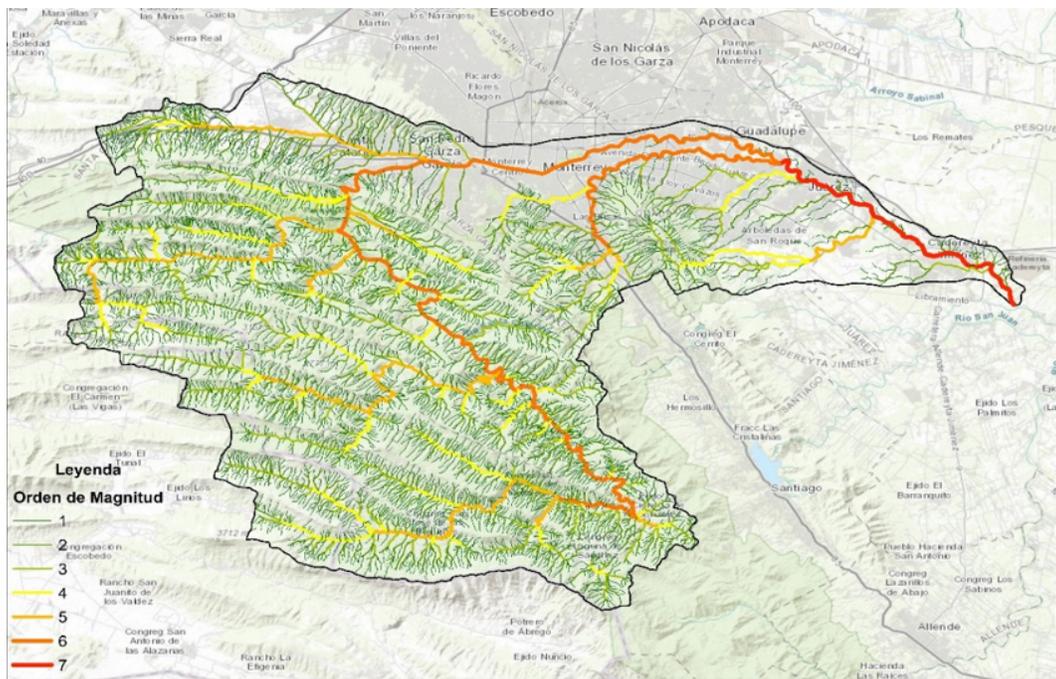


Figura 2. Asignación del tamaño de la franja de vegetación ribereña por orden de magnitud.

Figure 2. Assignment of the size of the riparian vegetation strip by order of magnitude.

El tamaño de la franja ribereña utilizado para este estudio se estableció por orden de magnitud de los cauces, asignando una franja de 20 m a las de orden 1, 40 m a las de orden 2, 60 m a las de orden 3, 80 m a las de orden 4, 100 m a las de orden 5, 120 a las del orden 6 y 140 m a las del orden 7 (Figura 2).

Análisis del cambio de uso de suelo. Se determinaron el cambio neto, la tasa anual de pérdida de superficie y la tasa de cambio (%). Para conocer el cambio neto se consideró la diferencia de superficie forestal entre dos puntos en el tiempo. Un resultado positivo significa ganancia general y un resultado negativo significa pérdida general de superficie forestal [19].

Para determinar cuánto cambió la vegetación ribereña por año de estudio, se utilizó la ecuación 1 propuesta por Maza-Villalobos et al. [20].

$$Tasa\ anual\ de\ perdida\ de\ superficie = (S2-S1)/t \quad (1)$$

Donde: S1 es la superficie en la fecha inicial (en ha); S2 es la superficie en la fecha final (en ha) y t es el tiempo analizado.

Para calcular la tasa de cambio relativo en la vegetación ribereña para los cuatro períodos de tiempo: 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 y 1995-2022, se utilizó la ecuación 2 propuesta por la FAO [21]:

$$Tasa\ de\ cambio\ relativo = (((S2/S1)^{1/n}) - 1) \times 100 \quad (2)$$

Donde, S1 es la superficie en la fecha inicial (en ha); S2 es la superficie en la fecha final (en ha) y n es el número de años entre las dos fechas.

Resultados

La representatividad de los cambios espacio-temporales de la vegetación ribereña para cada uno de los años (1995, 2008, 2014 y 2022) se describe en la figura 3.

La vegetación ribereña al inicio del estudio (1995) ocupó una superficie de 10 675,95 ha (62,83 %), mientras que el suelo desprovisto de vegetación fue de 6 316,26 ha (37,17 %). Al término del estudio (2022) la vegetación ribereña ocupó una superficie de 9 870,87 ha (58,09 %), mientras que el suelo desprovisto de vegetación fue de 7 121,34 ha (41,91 %) (Cuadro 1). Para los años 2008 y 2014, registró una pérdida significativa en su superficie de -389,54 ha y -403,30 ha respectivamente, para convertirse en suelo desprovisto de vegetación. Para el año 2022 no continuó con esta tendencia, ya que, aunque experimentó cambios negativos, estos fueron en menor extensión (-12,22 ha). Cuadro 2.

Cuadro 1. Cobertura total por tipo de suelo en los diferentes períodos de estudio.

Table 1. Total coverage by soil type in the different study periods.

Tipo de suelo	Cobertura							
	Año 1995		Año 2008		Año 2014		Año 2022	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Vegetación ribereña	10 675,95	62,83	10 286,40	60,54	9 883,09	58,16	9 870,87	58,09
Desprovisto de vegetación	6 316,26	37,17	6 705,81	39,46	7 109,12	41,84	7 121,34	41,91
Total	16 992,21	100,00	16 992,21	100,00	16 992,21	100,00	16 992,21	100,00

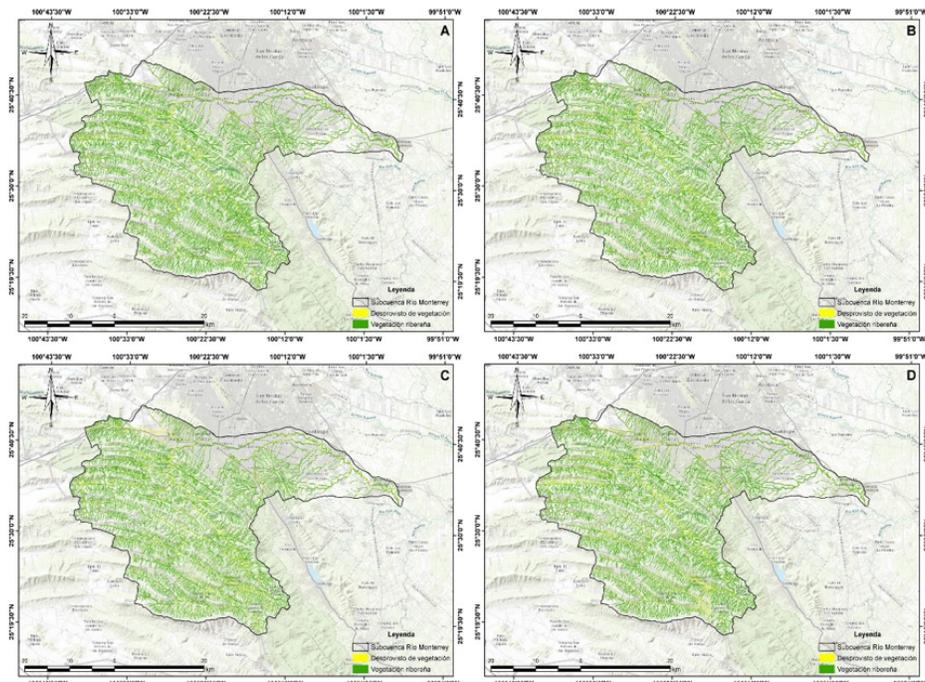


Figura 3. Mapas de los cambios espacio-temporales de la vegetación ribereña en la subcuenca hidrológica Monterrey durante los años 1995 (A), 2008 (B), 2014 (C) y 2022 (D).

Figure 3. Maps of spatio-temporal changes in riparian vegetation in the Monterrey hydrological subbasin during the years 1995 (A),

En relación a la tasa anual de pérdida de superficie, el período de 2008-2014 presentó la mayor pérdida de vegetación ribereña (-67,22 ha/año), contrario al período de 2014-2022 que sólo experimentó una pérdida de -1,53 ha/año. En 27 años (1995-2022) se perdieron anualmente -29,82 ha, transformándose en suelo desprovisto de vegetación (29,82 ha/año).

La tasa de cambio relativo en el período 2008-2014 fue mayor que la registrada en los períodos 1995-2008 y 2014-2022. En todo el período de estudio (1995-2022) la vegetación ribereña tuvo una tasa de cambio negativa de -0,29 %, mientras que para el suelo desprovisto de vegetación fue positiva con 0,45 %. Figura 4.

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, la tendencia general registrada durante los diferentes períodos de estudio es el cambio de vegetación ribereña a suelo desprovisto de vegetación. La mayor pérdida de cobertura se presenta en el período 2008-2014, seguida del período 1995-2008. Esta tendencia parece estar en concordancia con diversas investigaciones realizadas en el área de estudio por Cedillo De Lucas [14], Esquivel-Puente [22] y Hernández [23].

Cedillo De Lucas [14] realiza una proyección para los años 2010-2025 en la subcuenca Monterrey, basada en tendencias históricas de las cartas G14-7 y G14-8

Cuadro 2. Cambio neto y tasa anual de pérdida de superficie por períodos de estudio.**Table 2.** Net change and annual rate of surface loss by study periods.

Tipo de suelo	Cambio neto (ha)			Tasa anual de pérdida de superficie (ha/año)				
	1995-2008	2008-2014	2014-2022	1995-2022	1995-2008	2008-2014	2014-2022	1995-2022
Vegetación ribereña	-389,54	-403,30	-12,22	-805,08	-29,97	-67,22	-1,53	-29,82
Desprovisto de vegetación	389,54	403,30	12,22	805,08	29,97	67,22	1,53	29,82

de uso de suelo y vegetación de las series I a IV en la escala 1:250 000 de INEGI y observa una tendencia de aumento en el uso de suelo para asentamientos humanos y la disminución de cobertura de tipo matorral y bosque; a excepción del área de la Sierra Madre Oriental (Parque Nacional Cumbres de Monterrey) que no presenta cambios significativos históricamente.

Esquivel-Puente [22] en un estudio realizado durante el período 1995-2009, encuentra que el uso de suelo urbano dentro de la cuenca del Río La Silla, se incrementa en un 13 % (de 23 % a 36 %), disminuyendo la cobertura de vegetación. Así mismo, de acuerdo con una proyección a futuro sobre el porcentaje de urbanización para el año 2020, estima un 46 % de urbanización y 54 % de cobertura de vegetación.

Hernández [23] reporta que durante el período 2009-2021 en cual sitio, los asentamientos humanos y las zonas dedicadas a las actividades industriales y agropecuarias en el AMM, se incrementan en un 271 %, pasando de 65 087 ha a 177 090 ha. Siendo la urbanización de corrientes superficiales de agua uno de los efectos negativos de esta expansión exponencial, con una estimación de 1 600 km de corrientes de agua modificadas o invadidas en todas las latitudes que constituyen la continuidad del espacio urbanizado en torno a la ciudad de Monterrey.

Por otro lado, y en relación al presente estudio, durante el período 2014-2022 la vegetación ribereña presenta una tasa de cambio de -0,02 % anual, mucho menor a la registrada en los períodos 1995-2008 (-0,29 %) y 2008-2014 (-0,66 %). Este freno de pérdida de cobertura de vegetación pudiera estar relacionado con estrictas medidas en materia de desarrollo urbano y ordenación territorial, para la protección y conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro de la subcuenca hidrológica Monterrey. En esta área se tienen establecidas las ANP de carácter federal, estatal, y municipal: Monumento Natural El Cerro de la

Silla [24], Parque Nacional Cumbres de Monterrey [25], Sierra Cerro de la Silla [26], Parque Lineal Río Santa Catarina [27], Nuevo Parque Ecológico La Pastora en su categoría de Parque Urbano [28], y más recientemente Río La Silla Monterrey en su categoría de Corredor Biológico Ripario [10].

De acuerdo con [29] y [5], las estrategias a nivel mundial más efectivas para prevenir y mitigar los efectos derivados de amenazas por el cambio de uso de suelo se fundamentan en el establecimiento de áreas protegidas. En México las ANP son uno de los instrumentos administrativos más importantes para lograr la conservación in situ de la biodiversidad con la participación y el involucramiento de las comunidades que habitan en ellas [30]. Además, son clave en los esfuerzos conducentes a frenar la transformación de los ecosistemas naturales, entre otras metas [31].

En este sentido [29] examinan la efectividad de 44 áreas protegidas federales en México para evitar procesos de cambio de uso de suelo y vegetación, realizando una comparación entre éstas y sus ecorregiones sobre el porcentaje de superficie transformada en 2002 y sus tasas de cambio entre 1993 y 2002. Casi todas las áreas protegidas presentan tasas de cambio menores que sus respectivas ecorregiones, a excepción de 9 áreas (20 % del total) que muestran un incremento en las superficies transformadas superando al de sus ecorregiones. Así mismo y en relación a la vegetación ribereña, Escalona-Domenech et al. [32] encuentran que las mejores condiciones ecológicas de este ecosistema en la cuenca del río Margaritas, se presentan en las zonas más altas por la existencia del ANP Reserva de la Biosfera el Triunfo con buen nivel de conservación y políticas de protección ambiental. Resultados similares a los encontrados en los arroyos Los Elizondo, El Diente, La Virgen y El Calabozo que nacen en las partes altas del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, en los cuales la vegetación riparia conserva todas sus características naturales en

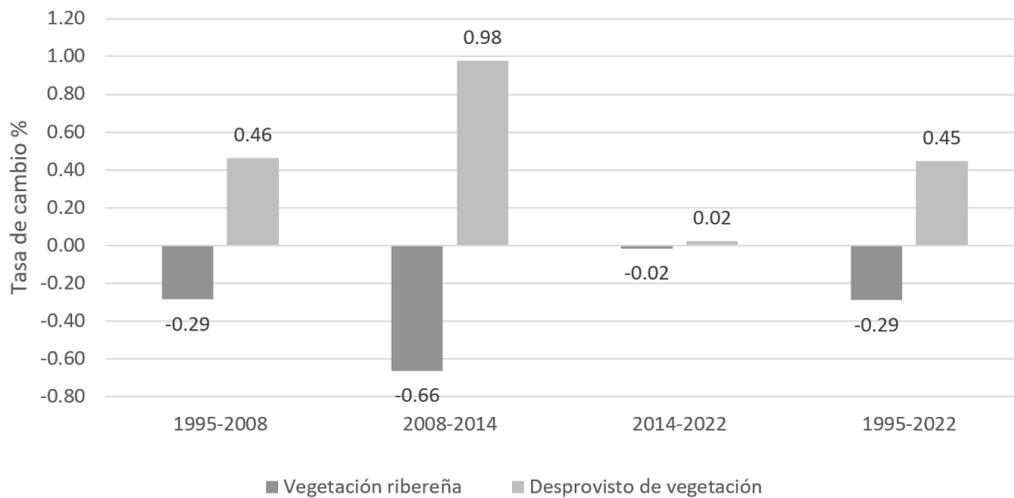


Figura 4. Tasa de cambio (% anual) de cobertura en la vegetación ribereña durante los períodos 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 y 1995-2022.

Figure 4. Rate of change (annual %) of cover in riparian vegetation during the periods 1995-2008, 2008-2014, 2014-2022 and 1995-2022.

las zonas rústicas o rurales; mientras que en las zonas urbanizadas o en proceso de urbanización y en las vías de comunicación, se presenta contaminación por desechos sólidos, descargas residuales, desperdicio de materiales de construcción y desaparición de la vegetación riparia [33].

Conclusiones

La vegetación ribereña de la subcuenca hidrológica Monterrey en un período de 27 años (1995-2022) mostró una tendencia general de pérdida de cobertura vegetal para convertirse en suelo desprovisto de vegetación despreciable. Las mayores tasas de cambio negativas se presentaron en los primeros dos períodos de estudio (1995-2008 y 2008-2014); mientras que en el último período (2014-2022) si bien presentó una tasa de cambio negativa, ésta fue mucho menor. Los resultados de este estudio pueden servir de base para el establecimiento de acciones de conservación que permitan mantener esta tendencia en la condición de la cobertura de la vegetación ribereña o buscar su recuperación para restablecer bienes y servicios ambientales. Así mismo, a partir de los resultados de este estudio se abre una brecha para abordar futuros estudios, como caracterización de la cobertura de vegetación ribereña por tipos de uso de suelo, conectividad y fragmentación del paisaje; que permitan aportar un mayor entendimiento de la dinámica ecológica de esta comunidad de vegetación en México.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por la beca de doctorado otorgada a la primera autora.

Referencias

- [1] E. Hernández Pérez, J. G. García Franco, G. Vázquez, & E. Castellano De Rosas, “Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989-2015)”, *Madera y Bosques*, vol. 28, no. 1, Sept., pp. 1-22, 2022. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812294>
- [2] R. Pérez Miranda, G. M. Cruz Bello, F. Moreno Sánchez, A. González Hernández, & E. M. Romero Sánchez, “Cambios de vegetación y uso de suelo en la Cuenca Río Bravo-San Juan, Coahuila (1993 a 2008)”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 3, no. 10, Mar-Abr., pp. 25-40, 2012.
- [3] J. J. Von Thaden Ugalde, D. Lithgow, D. A. Revollo Fernández, M. D. Salazar Vargas, & A. Rodríguez De los Santos, “Cambios en uso de suelo y vegetación en tres cuencas de México con modelos de Markov”, *Madera y Bosques*, vol. 29, no. 3, Oct., pp. 1-20, 2023. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932638>
- [4] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015. Ciudad de México, México: SEMARNAT, 2016.
- [5] F. J. Sahagún Sánchez, & H. Reyes Hernández, “Impactos por el cambio de uso de suelo en las áreas

- naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México”, *Ciencia UAT*, vol. 12, no. 2, Ene., pp. 6-21, 2018.
- [6] G. E. Martínez Quiroga, H. De León Gómez, F. D. Yépez Rincón, S. López Saavedra, A. Cardona Benavides, A. Cruz López, “Alluvial Terraces and Contaminant Sources of the Santa Catarina River in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico”, *Journal of Maps*, vol. 17, no. 2, Apr., pp. 247-256, 2021.
- [7] M. E. Murillo Sánchez, “Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la subcuenca 24Bf “Monterrey”, aplicando un sistema de información geográfica”, Tesis de maestría, División de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México, 2002.
- [8] C. Cantú Ayala, M. Rovalo Merino, J. Marmolejo Moncivais, S. Ortiz Hernández, & F. Serriñá Garza, *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey*, Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2013.
- [9] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Programa de Manejo Monumento Natural El Cerro de la Silla. México, Distrito Federal: SEMARNAT, 2014.
- [10] Gaceta Municipal de Monterrey, “Dictamen referente a la declaratoria de Área Natural Protegida Municipal (ANPM) al denominado Río La Silla del municipio de Monterrey en su categoría de Corredor Biológico Ripario”, 2023. [En línea]. Disponible en https://www.monterrey.gob.mx/pdf/gacetitas/2023/GACETA_ESPECIAL_JUNIo.pdf [Fecha de acceso: julio 3, 2024].
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León”, 1986. [En línea]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825220747> [Fecha de acceso: junio 10, 2024].
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Conjunto de datos vectoriales de información topográfica G14C26 (Monterrey), Escala 1:50,000”, 2021. [En línea]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463855613> [Fecha de acceso: junio 10, 2024].
- [13] L. L. Cedillo De Lucas, “Evaluación de las fuentes de abastecimiento de agua para la Zona Metropolitana de Monterrey”, Tesis de maestría, Escuela de Ingeniería y Tecnologías de Información, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México. 2012.
- [14] G. Alanís Flores & C. Velazco Macías, “Tipos de vegetación”, en *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey*, México, C. Cantú Ayala, M. Rovalo Merino, J. Marmolejo Moncivais, S. Ortiz Hernández, & F. Serriñá Garza, Eds. Monterrey, Nuevo León, México: UANL-CONANP. 2013, pp. 117-126.
- [15] G. I. López Castillo, G. J. Alanís Flores, S. Favela Lara, M. Torres Morales, “Diversidad de la vegetación riparia del río La Silla Monterrey-Guadalupe, Nuevo León”, *Ciencia UANL*, vol. 21, no. 89, May-Jun., pp. 23-29, 2018. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl21.89-1>
- [16] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Ortoimagenes. Escala 1:20,000”, 2023. [En línea]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/#Descargas> [Fecha de acceso: octubre 1, 2023].
- [17] SASPlanet, SASPlanet Software, Versión 181221, SASPlanet Development Team, 2023. [En línea]. Disponible en <http://www.sasgis.org/download/> [Fecha de acceso: octubre 1, 2023].
- [18] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*, Rome, Italy: FAO, 2020.
- [19] S. Maza Villalobos, E. Alvarado Sosa, A. D. Arriaza Rodríguez, F. Infante, & M. A. Castillo Santiago, “Dinámica del uso de suelo y vegetación en paisajes altamente modificados por actividades agropecuarias en el sur de México”, *Botanical Sciences*, vol. 111, no. 2, Mar., pp. 374-386, 2023. <https://doi.org/10.17129/botsci.3148>
- [20] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), *Forest Resources Assessment 1990: Survey of tropical forest cover and study of change processes*, Rome, Italy: FAO, 1996.
- [21] S. Esquivel Puentes, “Impacto del escurrimiento asociado a eventos de precipitación extremos en la cuenca urbana y su relación con el cambio y uso de suelo”, Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, 2012.
- [22] A. Hernández, “Descontrol y expansión urbana en Monterrey”, *Contextual*, junio 19, 2024. [En línea]. Disponible en <https://contextual.mx/contenido/descontrol-y-expansin-urbana> [Fecha de acceso: julio 1, 2024].
- [23] Diario Oficial de la Federación (DOF), “Decreto por el que se declara área natural protegida en la categoría de Monumento Nacional el Cerro de la Silla, con la superficie que se indica, ubicada en los municipios de Guadalupe y Monterrey, Nuevo León”, 1991. [En línea]. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4717328&fecha=26/04/1991#gsc.tab=0 [Fecha de acceso: julio 2, 2024].
- [24] Diario Oficial de la Federación (DOF), “Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de parque nacional, la región conocida con el nombre de Cumbres de Monterrey, ubicada en los municipios de Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, Estado de Nuevo León”, 2000. [En línea]. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063788&fecha=17/11/2000#gsc.tab=0 [Fecha de acceso: julio 2, 2024].
- [25] Periódico Oficial de Nuevo León, “Declaratoria de veintitrés Áreas Naturales Protegidas con el carácter de zonas sujetas a conservación ecológica del estado

de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León”, 2000. [En línea]. Disponible en https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_areas.pdf [Fecha de acceso: julio 5, 2024].

- [26] Periódico Oficial de Nuevo León, “Decreto por el cual se declara como “Área Natural Protegida Estatal, en la categoría de Parque Urbano”, bajo la denominación de “Parque Lineal” el cauce del río Santa Catarina, localizado en los municipios de Monterrey, San Pedro Garza García, Guadalupe, Juárez y Santa Catarina, Nuevo León, supeditada la vigilancia a los términos de su artículo cuarto, y 2 anexos. (primera publicación). Monterrey, Nuevo León”, 2008. [En línea]. Disponible en https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_plineal.pdf [Fecha de acceso: julio 5, 2024].
- [27] Periódico Oficial de Nuevo León, “Re-delimitación y ampliación en su categoría de Parque Urbano denominada “Nuevo Parque Ecológico La Pastora”, ubicada en el Municipio de Guadalupe, N.L., declarada de esa forma, mediante Decreto emitida por el entonces Gobernador del Estado, Lic. José Natividad González Parás, publicado en el Periódico Oficial del Estado en fecha 27 de marzo de 2009. Monterrey, Nuevo León”, 2011. [En línea]. Disponible en https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_lapastora.pdf [Fecha de acceso: julio 5, 2024].
- [28] F. Figueroa, V. Sánchez Cordero, P. Illoldi Rangel, & M. Linaje, “Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso de suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?”, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 82, no. 3, Sept., pp. 951-963, 2011.
- [29] CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México y plan de acción 2016-2030*, Ciudad de México, México: CONABIO, 2016.
- [30] M. Maass, E. Jardel, A. Martínez Yrizar, L. Calderón, J. Herrera, A. Castillo, J. Euán Ávila, & M. Equihua, “Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México”, *Ecosistemas*, vol. 19, no. 2, May., pp. 69-83, 2010.
- [31] R. Y. Escalona Domenech, D. Infante Mata, J. R. García Alfaro, N. Ramírez Marcial, C. I. Ortiz Arzona, & E. Barba Macías, “Calidad de las riberas en tres tipos de cobertura vegetal en un río de la sierra Madre de Chiapas, México”, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 92, e923526, Feb., pp. 1-22, 2021.
- [32] Periódico Oficial de Monterrey, “Plan parcial de desarrollo urbano sustentable Cañón del Huajuco 2010-2020”, 2011. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. [En línea]. Disponible en https://portal.monterrey.gob.mx/pdf/disposiciones/2011/MARZO/pagina_%2012-143.pdf [Fecha de acceso: julio, 3 2024].