

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 10, número 3; 2022

Artículo original

Dinámica de cambio en ecosistemas urbanos y periurbanos en el área metropolitana de Monterrey, México

Dynamics of change in urban and peri-urban ecosystems in the metropolitan area of Monterrey, Mexico

Dinâmica de mudança nos ecossistemas urbanos e peri-urbanos na área metropolitana de Monterrey, México

Javier Jiménez Pérez^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-4246-7613>

Rufino Sandoval García¹  <https://orcid.org/0000-0003-4448-6172>

Eduardo Alanís Rodríguez¹  <https://orcid.org/0000-0001-6294-4275>

José Israel Yerena Yamalle¹  <https://orcid.org/0000-0002-9216-7427>

Oscar Alberto Aguirre Calderón¹  <https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>

¹Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

*Autor para la correspondencia: jjimenez20@gmail.com

Recibido: 2022-03-31.

Aprobado: 2022-09-02

RESUMEN

La pérdida de ecosistemas forestales por la urbanización tiene innumerables impactos en los servicios ambientales y sociales, por lo cual, se requiere de un sistema de monitoreo detallado del proceso de fragmentación de ecosistemas. El objetivo de la presente investigación fue determinar la tasa de cambio del uso del suelo y la



disponibilidad de ecosistemas urbanos y periurbanos en área metropolitana de Monterrey, México. Se realizó un análisis multitemporal en QGIS 2.18.25, mediante una clasificación supervisada de imágenes satelitales de alta resolución de año 1994 al 2020 y la disponibilidad de áreas verdes por habitante ($\text{m}^{-2} \text{hab}^{-1}$) se obtuvo de la superficie de los ecosistemas urbanos y crecimiento poblacional por municipio. Los resultados indican que en un periodo de 26 años el área metropolitana de Monterrey ha perdido el 33 % de ecosistemas urbanos y 13 % de periurbanos, a una tasa promedio de -1.53 y -0.93 respectivamente. La disponibilidad de áreas verdes por habitantes pasó de 68 a $32 \text{ m}^{-2} \text{hab}^{-1}$ y la tendencia indica que en menos de diez años algunos municipios dispondrán únicamente de $15 \text{ m}^{-2} \text{hab}^{-1}$, por lo que se requieren la priorización de estrategias de restauración ecológica para regular las condiciones microclimáticas, mitigar los impactos de las islas de calor y mantener la provisión de servicios ambientales que brindan estos ecosistemas al área metropolitana de Monterrey.

Palabras clave: Áreas verdes; Imágenes satelitales de alta resolución; Islas de calor; SASPlanet y Servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The loss of forest ecosystems due to urbanization has numerous impacts on environmental and social services, which is why a detailed monitoring system for the fragmentation process of the two ecosystems is necessary. The objective of this research was to determine the rate of change in land use and the availability of urban and peri-urban ecosystems in the metropolitan area of Monterrey, Mexico. A multi-temporal analysis was carried out in QGIS 2.18.25, by means of a supervised classification of high-resolution satellite images from 1994 to 2020, and the availability of green areas per inhabitant ($\text{m}^{-2} \text{inhab}^{-1}$) was obtained from the surface of the urban ecosystems and population growth by municipality. The results indicate that over a 26-year period, the Monterrey metropolitan area lost 33 % of two urban ecosystems and 13 % of two peri-urban ones, at an average rate of -1.53 and -0.93 , respectively. The availability of green areas per inhabitant increased from 68 to $32 \text{ m}^{-2} \text{inhab}^{-1}$ and the trend indicates that in less than ten years some municipalities will have only $15 \text{ m}^{-2} \text{inhab}^{-1}$. For that reason, it would be necessary to prioritize strategies of ecological restoration to regulate microclimatic conditions, mitigate the impacts of heat islands and maintain the provision of environmental services that these ecosystems provide to the Monterrey metropolitan area.

Keywords: Green areas; Heat islands; High resolution satellite images; SASPlanet and Ecosystem Services.

RESUMO

A perda de ecossistemas florestais devido à urbanização tem inúmeros impactos nos serviços ambientais e sociais, razão pela qual é necessário um sistema de monitoramento detalhado do processo de fragmentação dos ecossistemas. O objetivo desta pesquisa foi determinar a taxa de mudança do uso da terra e a disponibilidade de ecossistemas urbanos e periurbanos na área metropolitana de Monterrey, México. Uma análise multitemporal foi realizada no QGIS 2.18.25, por meio de uma classificação supervisionada de imagens de satélite de alta resolução de 1994 a 2020, e a



disponibilidade de áreas verdes por habitante ($\text{m}^{-2} \text{hab}^{-1}$) foi obtida da superfície de os ecossistemas, crescimento urbano e populacional por município. Os resultados indicam que em um período de 26 anos, a área metropolitana de Monterrey perdeu 33% dos ecossistemas urbanos e 13 % dos periurbanos, a uma taxa média de -1,53 e -0,93, respectivamente. A disponibilidade de áreas verdes por habitante passou de 68 para 32 $\text{m}^{-2} \text{hab}^{-1}$ e a tendência indica que em menos de dez anos alguns municípios terão apenas 15 $\text{m}^{-2} \text{hab}^{-1}$, razão pela qual é necessária a priorização de estratégias. de restauração ecológica para regular as condições microclimáticas, mitigar os impactos das ilhas de calor e manter a prestação de serviços ambientais que esses ecossistemas prestam à área metropolitana de Monterrey.

Palavras chave: Áreas verdes; ilhas de calor; imagens de satélite de alta resolução; SASPlanet e Serviços de ecossistemas.

INTRODUCCIÓN

La eliminación de cobertura forestal para el establecimiento de asentamientos humanos, infraestructura e industria y centros comerciales, ha reducido la disponibilidad de ecosistemas urbanos y periurbanos a un ritmo acelerado, lo cual ha modificado los procesos naturales de escorrentía y aumenta el riesgo de inundaciones, disminuye la recarga de mantos acuíferos, pérdida de la biodiversidad y degradación de los ecosistemas (MacGregor-Fors *et al.*, 2009).

Los ecosistemas urbanos (áreas verdes) son un conjunto de recursos naturales que contemplan: agua, suelo, paisajes, áreas agrícolas, bosques, jardines y organismos asociados, que generan un microclima en las ciudades, contribuyen en la disminución del efecto de islas de calor mediante la reducción del flujo de calor sensible y temperatura del aire por la transpiración de las plantas (Meza y Moncada, 2010).

Mejoran la calidad del aire, mediante la filtración de partículas contaminantes, aíslan el ruido, secuestran el carbono, protegen al suelo contra la erosión, controlan la radiación solar, proveen refugio para la fauna silvestre y generan un efecto psicológico positivo que mejora la salud física y mental de los residentes (Nowak *et al.*, 2006).

El establecimiento y mantenimiento de áreas verdes, es responsabilidad de los desarrolladores urbanos, expertos forestales, políticos, residentes y ambientalistas; sin embargo, no siempre son aceptados, ni considerados durante la planeación porque comprometen espacios para el desarrollo capitalista (Bascuñán *et al.*, 2009).

Es indispensable contar con un sistema de monitoreo que permita comprender el proceso de pérdida y fragmentación de áreas verdes, para tomar decisiones en la planificación de zonas urbanas y priorización de áreas críticas en donde implementar estrategias de restauración ecológica y prácticas paisajísticas (Giri *et al.*, 2007).

Las imágenes satelitales se han convertido en una herramienta importante y con un alto potencial para el monitoreo multitemporal de los ecosistemas forestales y crecimiento de las grandes ciudades (Ardila *et al.*, 2012). El uso de las imágenes de alta resolución (30 cm a 5 m/píxel) mejoran en gran medida la interpretación de los diferentes escenarios de cambio del uso del suelo, debido al alto nivel de detalle con el que puede observar los recursos naturales (Everitt *et al.*, 2007).



Mediante los análisis multitemporales con dichas imágenes, es posible obtener un panorama real de la pérdida de ecosistemas urbanos y periurbanos, con información espacialmente explícita y estadísticamente representativa desde árboles individuales o en grupos (Azzari *et al.*, 2017).

El objetivo de la presente investigación fue determinar la tasa de cambio del uso del suelo y la disponibilidad de ecosistemas urbanos y periurbanos en área metropolitana de Monterrey, México, para identificar y priorizar áreas críticas de restauración ecológica y planificación urbana. La hipótesis planteada indica que el crecimiento poblacional, incide en la pérdida de los ecosistemas urbanos y periurbanos en el área metropolitana de Monterrey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en el área metropolitana de Monterrey, México, contemplando siete municipios: General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, Santa Catarina y Apodaca (Figura 1).

Los municipios en conjunto cuentan con una población total de 7 549 298 habitantes, en una superficie de 60 296.76 hectáreas (ha), en donde se concentran parques industriales, centros comerciales y se desarrolla la principal economía del norte de México.

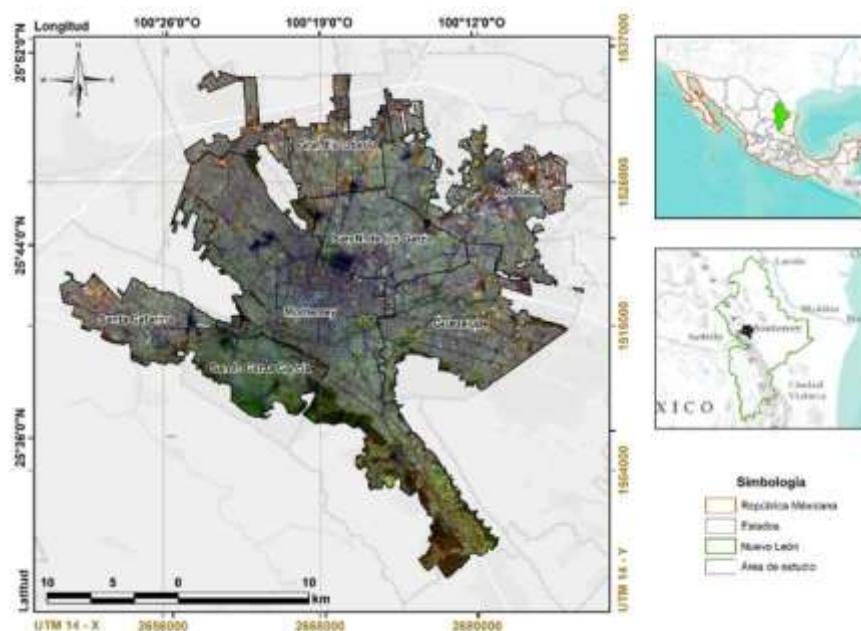


Figura 1. - Localización del área metropolitana de Monterrey, México



Procesamiento y generación de ortomosaicos

Las imágenes satelitales Landsat 8 (30 m/píxel, Figura 2A) y Sentinel 2 (10 m/píxel, Figura 2B), presentan un sesgo en el cálculo de superficies, por lo cual, se realizó un comparativo con ortofotos (1 m/píxel; Figura 2C) e imágenes Birdseye (0.28 m/píxel; Figura 2D), las cuales se consideran de alta resolución.

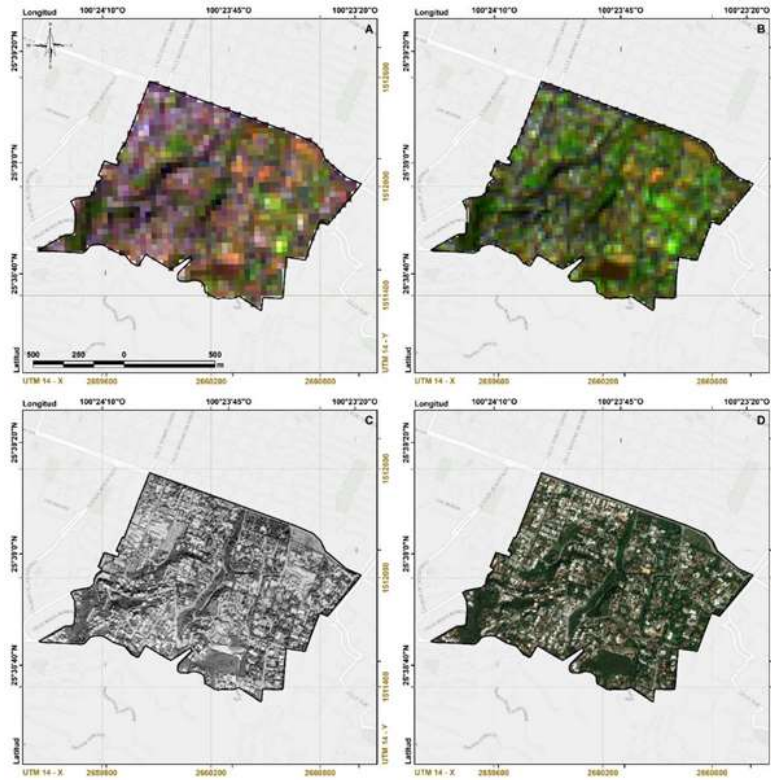


Figura 2. - Comparativo de imágenes Landsat (A), Sentinel (B), Ortofotos (C) y Birdseye (D)

Se procesaron y generaron cuatro ortomosaicos compuestos por 9 ortofotos (1.5 m/píxel; año 1994, Figura 3A), 31 ortofotos (1 m/píxel; año 2004, Figura 3B), 48 de Airbus Defence and Space (1.14 m/píxel; año 2020; Figura 3C) y 193 imágenes Birdseye (0.28 m/píxel; año 2010; Figura 3D).



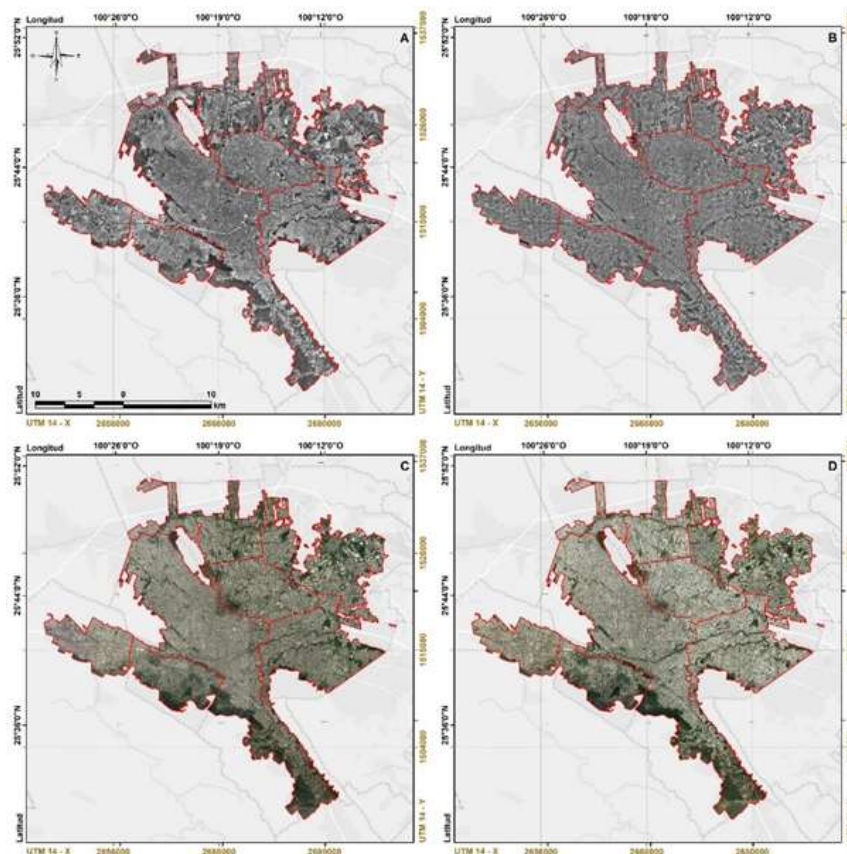


Figura 3. - Ortomosaicos del año 1994 (A), 2004 (B), 2010 (C) y 2020 (D)

Las imágenes Landsat y Sentinel se obtuvieron de las plataformas de acceso libre Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2021), las ortofotos de Espacio y Datos de México del Instituto Nacional de Estadística y Geografía; así como las imágenes de Airbus Defence and Space y Birdseye del software SASPlanet.

Clasificación supervisada

Para la detección de cambios, se utilizó el software QGIS 2.18.25 "Las Palmas" de código abierto, debido a que es la versión más estable. Se realizó una corrección atmosférica a las imágenes de cada año, las cuales fueron recortadas y sometidas a un proceso de clasificación no supervisada con el módulo "K-means analysis", el cual agrupa los valores de celda en clases, con el método de análisis de conglomerados de datos multivariados (Rashmi *et al.*, 2016).



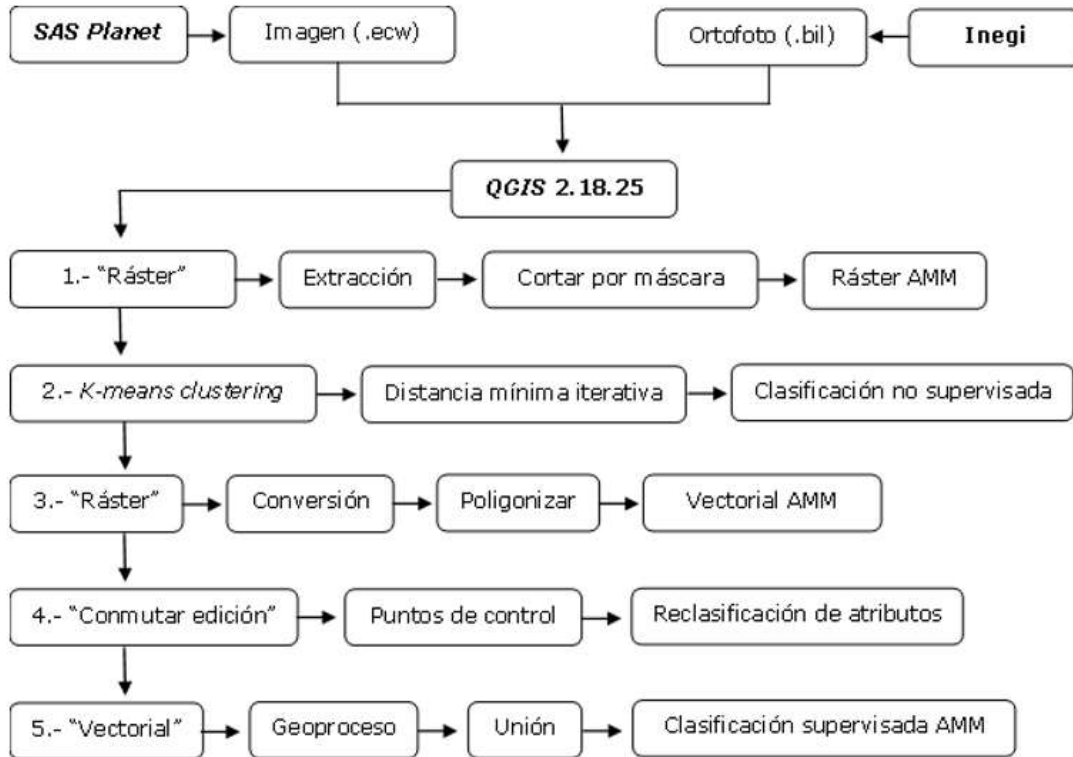


Figura 4. - Proceso de clasificación supervisada en QGIS 2.18.25

Posteriormente, se transformaron los archivos de formato raster a vectorial, para una clasificación supervisada (Figura 4), mediante puntos de control con información obtenida en campo (Figura 5), en 100 sitios distribuidos de manera sistemática, en áreas con alto de grado confusión por la reflectancia de las imágenes, la exposición, ruido y nubosidad (Jumb *et al.*, 2014).



Figura 5. - Ecosistemas urbanos y periurbanos del área metropolitana de Monterrey



La concordancia y precisión de los resultados de clasificación de las imágenes satelitales de alta resolución se calculó en el módulo "r.kappa" en GRASS, el cual genera una matriz de error y determina el Coeficiente kappa de Cohen.

Determinación de tasa de cambio de uso del suelo

La determinación de la tasa de cambio del uso del suelo y vegetación se obtuvo mediante la ecuación adaptada por Palacio-Prieto *et al.* (2004) (Ecuación 1).

$$\delta_n = [((s_2/s_1)^{(1/n)} - 1) * 100] \quad (1)$$

Donde:

δ_n

= Tasa de cambio expresada en porcentaje.

S_1 = Superficie de la fecha 1.

S_2 = Superficie de la fecha 2.

n = Número de años entre las dos fechas

Determinación de áreas verdes por habitante

La determinación de áreas verdes por habitante se calculó mediante la fórmula adaptada por Ballinas y Barradas (2015), considerando únicamente los ecosistemas urbanos y la población total por municipio en los diferentes años, la cual se obtuvo del Sistema de Consulta de Información Territorial (INEGI, 2021b) (Ecuación 2).

$$AV = (Sup/Hab) \quad (2)$$

Donde:

AV= Área verde por habitante ($m^{-2} \text{ hab}^{-1}$).

Sup= Superficie de área verde (m^{-2}).

Hab= Número de habitantes (hab^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

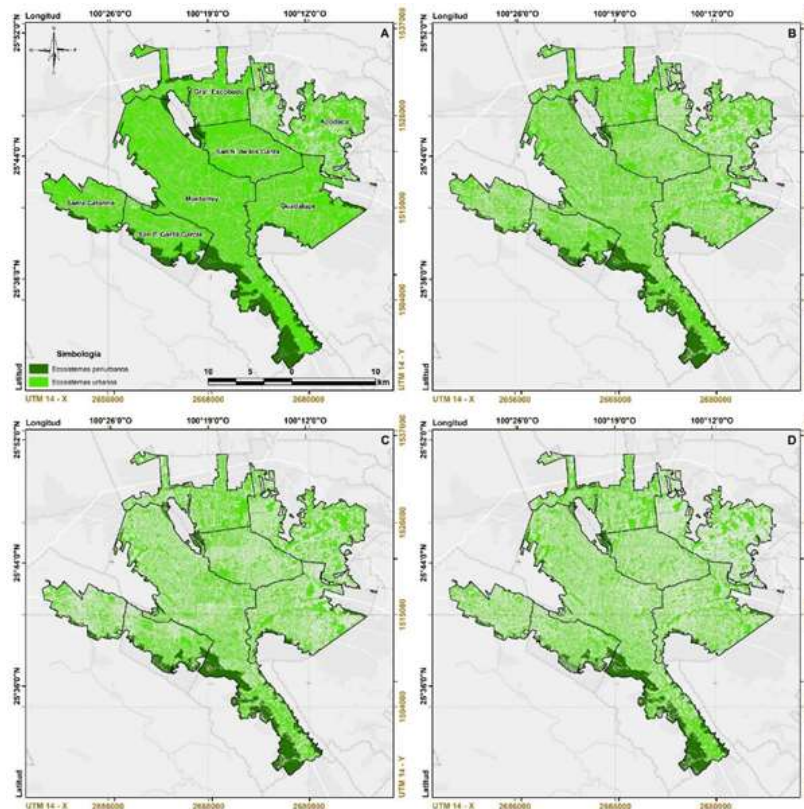
El análisis comparativo entre imágenes satelitales demostró que existe una sobreestimación de más de 38 % con Landsat 8 OLI y 22 % con Sentinel 2A, en comparación con las imágenes de alta resolución, las cuales presentaron valores promedios de índice de kappa de 0.82, considerándose dentro de un nivel de precisión muy buena, similar a lo reportado por Arenas *et al.* (2011) y Mendes *et al.* (2015) para imágenes Quickbird (2.4 m/píxel) y Geoeye-1 (1.65 m/píxel).

En el área metropolitana de Monterrey, para el año 2020, se ha perdido un total de 10,657.9 ha de ecosistemas urbanos que representan el 33 % y el 13 % de periurbanos que equivalen a 673.8 ha, siendo los municipios con mayor pérdida Apodaca con el 39.6 %, San Nicolás de los Garza (37.4 %) y Santa Catarina (37.2 %) de la cobertura que disponían en el 1994 (Figura 6; Tabla 1).



Tabla 1. - Ecosistemas urbanos y periurbanos del área metropolitana de Monterrey

Municipios	Ecosistemas urbanos (ha)				Periurbanos (ha)			
	1994	2004	2010	2020	1994	2004	2010	2020
Monterrey	11,640.4	8,321.6	8,313.8	7,779.6	3,491.7	3,323.0	3,260.8	3,210.3
Guadalupe	4,794.4	4,139.7	3,577.8	3,501.4	295.4	268.1	263.0	248.7
San Nicolás de los G.	3,502.2	3,026.9	2,413.8	2,181.5	97.3	81.3	74.4	73.3
General Escobedo	3,271.7	3,130.5	3,069.5	2,334.6	197.7	182.4	174.7	151.7
San Pedro G. García	2,361.9	2,267.9	1,923.3	1,747.9	754.4	743.5	680.0	537.6
Santa Catarina	2,369.3	1,886.2	1,502.7	1,467.1	214.3	199.9	181.2	155.5
Apodaca	4,372.5	3,439.4	2,925.8	2,642.2				
Total	32,312.2	26,212.2	23,726.7	21,654.3	5,050.8	4,798.2	4,634.2	4,377.0

**Figura 6.** - Ecosistemas urbanos y periurbanos en el año 1994 (A), 2004 (B), 2010 (C) y 2020 (D)

La disponibilidad de áreas verdes por habitante en la zona metropolitana de Monterrey para el año 2020 es 20.1 a 66.1 m² hab⁻¹ (Tabla 2), lo cual se encuentra por encima de los niveles óptimos recomendando de 9 a 15 m² hab⁻¹, siendo los resultados similares a lo reportado en Santiago de Chile y Curitiba, Brasil con valores de 26.1 y 51.5 m² hab⁻¹.



¹ respectivamente (Mejía y Gómez, 2015), superior a Fuenlabrada, Almería y Reggio di Calabria, Italia con 3 y 4 m⁻² hab⁻¹ e inferior a Liege, Bélgica y Oulu, Finlandia que poseen más de 300 m⁻² hab⁻¹ (Fuller y Gastón, 2009).

Tabla 2. Áreas verdes (m²) por habitante en el área metropolitana de Monterrey

Municipio / Año	1994	2004	2010	2020
Monterrey	53.5	36.7	36.6	34.0
Guadalupe	38.7	29.9	26.4	27.2
San Nicolas de los Garza	35.9	31.7	27.2	26.5
General Escobedo	92.5	52.3	42.9	24.3
San Pedro Garza García	97.7	92.9	78.4	66.1
Santa Catarina	58.6	36.3	27.9	23.9
Apodaca	99.8	41.1	27.9	20.1
Promedio	68.1	45.8	38.2	31.7

De los municipios del área metropolitana de Monterrey, es San Pedro Garza García quien presenta la mayor disponibilidad de áreas verdes por habitante, debido a que el crecimiento poblacional se ha mantenido de manera constante por más de 30 años en promedio con 244,336 habitantes, considerándose como el municipio de mayor riqueza en México y América Latina; en contraste con el Apoda presenta la menor disponibilidad de áreas verdes por habitante como resultado del crecimiento exponencial, el cual paso de una población de 232,310 en el año de 1990 a 1,313,074 para el 2020, situación similar con el municipio de General Escobedo que paso de 196,398 a 962,458 habitantes (Figura 7).

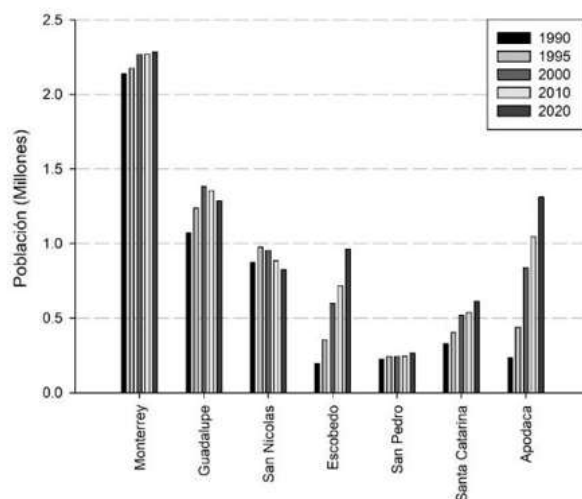


Figura 7. - Crecimiento población del área metropolitana de Monterrey



En cuanto a los municipios de Guadalupe y San Nicolás de los Garza, presentan una tendencia negativa del crecimiento poblacional, como respuesta de la limitada disponibilidad espacios óptimos para el desarrollo urbano; en contraste con Monterrey quien ha concentrado la mayor población desde el año de 1990 con 2,138,501 habitantes, alcanzando un crecimiento máximo en el año 2005 con 2,267,640, posteriormente el crecimiento población es mínimo, sin embargo, mantiene una continua tasa de pérdida de ecosistemas urbanos y periurbanos (Tabla 3).

Tabla 3. - Tasa de cambio de áreas verdes en la zona metropolitana de Monterrey

Municipio / Año	1994-2004	2004-2010	2010-2020	1994-2020
Monterrey	-3.30	-0.02	-1.65	-1.54
Guadalupe	-1.46	-3.58	-0.54	-1.20
San Nicolas de los Garza	-1.45	-5.50	-2.50	-1.80
General Escobedo	-0.44	-0.49	-6.61	-1.29
San Pedro Garza García	-0.40	-4.04	-2.36	-1.15
Santa Catarina	-2.25	-5.52	-0.60	-1.83
Apodaca	-2.37	-3.96	-2.52	-1.92
Promedio	-1.67	-3.30	-2.40	-1.53

El área metropolitana de Monterrey, en general, presenta una tendencia gradual de pérdida ecosistemas urbanos y periurbanos, aunado al crecimiento poblacional exponencial de algunos municipios; se estima que para el año 2026 el municipio de Apodaca dispondrá de $15 \text{ m}^{-2} \text{ hab}^{-1}$, lo cual ocurrirá para Escobedo en 2031 y en Santa Catarina 2033 (Figura 8), valores mínimos recomendados, siendo considerados como municipios prioritarios para la implementación de estrategias de restauración ecológica que permitan revertir este proceso y garantizar la calidad de vida de los habitantes.

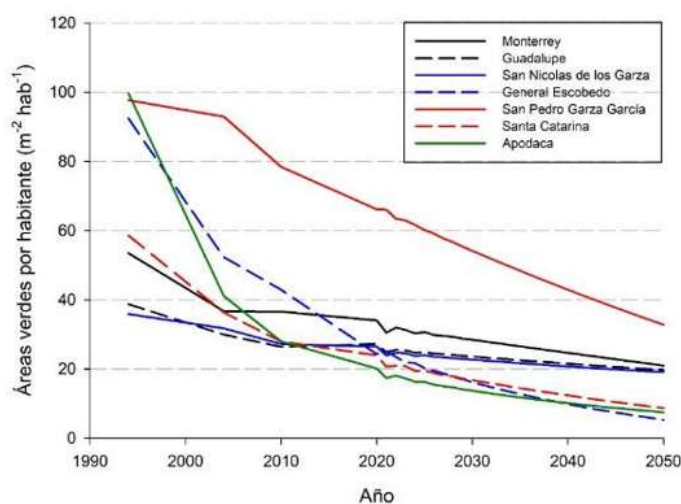


Figura 8. - Proyección de pérdida áreas verdes en la zona metropolitana de Monterrey



CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación indican que los municipios de Apodaca, General Escobedo y Santa Catarina, presentan la mayor pérdida de áreas verdes, en contraste con aquellos municipios cuyo crecimiento poblacional ha disminuido gradualmente e incluso se observa un proceso de migración hacia municipios y estados colindantes.

La tasa de cambio de los ecosistemas urbanos y periurbanos del área metropolitana de Monterrey, indican una tendencia negativa, que contribuye de manera gradual en la pérdida de servicios ambientales.

Las imágenes de alta resolución permiten identificar áreas prioritarias para la implementación de estrategias de restauración ecológica, permitiendo así, contar con panorama real de proceso degradación de los ecosistemas forestales.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mediante una beca de posgrado otorgada al autor de correspondencia (2018-000068-02NACF-12694).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDILA, J. P., BIJKER, W., TOLPEKIN, V. A. y STEIN, A. 2012. Multitemporal change detection of urban trees using localized region-based active contours in VHR images. *Remote Sensing of Environment* 124: 413-426. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.05.027>
- ARENAS, S., HAEGER, J. F. y JORDANO, D. 2011. Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. *Revista de Teledetección* [En línea] 35: 55-71. [Consulta 12 de mayo 2021]. Disponible en: http://www.aet.org.es/revistas/revista35/Numero35_07.pdf
- AZZARI, G., JAIN, M. y LOBELL, D. B. 2017. Towards fine resolution global maps of crop yields: Testing multiple methods and satellites in three countries. *Remote Sensing of Environment*. 202: 129-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.014>
- BALLINAS, M y BARRADAS, V. L. 2015. The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality*. 25: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>
- BASCUÑÁN, F., WALKER, P. y MASTRANTONIO, J. 2009. Indicadores de diversidad e integración socioeconómica de ciudadanos en espacios urbanos de uso público. *Urbano*. [En línea] 19: 43-51. [Consulta 12 de junio 2021]. Disponible en: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/334>



- EVERITT, J. H., YANG, C. y JOHNSON, H. B. 2007. Canopy spectra and remote sensing of Ashe juniper and associated vegetation. *Environmental Monitoring and Assessment* 130: 403-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9407-2>
- FULLER, R. A. y GASTÓN, K. J. 2009. The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters*. 5: 352-355. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0010>
- GIRI, C., PENGRA, B., ZHU, Z., SINGH, A. y TIESZEN, L. L. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 91-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.019>
- JUMB, V., SOHANI, M. y SHRIVAS, A. 2014. Color image segmentation using K-means clustering and Otsu's adaptive thresholding. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* [En línea]. 3 (9): 72-76. [Consulta 01 de enero de 2021]. Disponible en: <http://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v3i9/I1495023914.pdf>.
- MACGREGOR-FORS, I., ORTEGA-ÁLVAREZ, R. y SCHONDUBE, J. E. 2009. On the ecological quality of urban systems: an ornithological perspective. *In: Urban planning in the 21st century*. D.S. Graber y K.A. Birmingham (eds.). Nova Science Publishing. 51-66. ISBN:978-1-60692-975-9
- MEJÍA S, G. y GÓMEZ, R. 2015. Un análisis a la superficie de área verde por habitante en la ciudad de Tepic, Nayarit, México. *Investigación Joven*. 2: 1-5. ISSN 2314-3991
- MENDES, D. F., DA SILVA, S. F., FERRERI, J. L., DOS SANTOS, A. R. y GARCÍA, R. F. 2015. Acurácia temática do classificador por máxima verossimilhança em imagem de alta resolução espacial do satélite Geoeye-1. *Nucleus*. 12: 107-118. DOI: <https://doi.org/10.37378/1982.2278.1011>
- MEZA A, M DEL C y MONCADA M, J. O. 2010. Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 331 (56). ISSN: 1138-9788.
- NOWAK, D. J., CRANE, D. E. y STEVENS, J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4: 115-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- PALACIO-PRIETO J. L., SÁNCHEZ-SALAZAR, T. M., CASADO-IZQUIERDO, J. M., PROPINFREJOMIL, E., DELGADO-CAMPOS, J., VELÁZQUEZ-MONTES, A., CHIAS-BECERRIL, L., ORTIZ-ÁLVAREZ, M. I., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, J., NEGRETE-FERNÁNDEZ, G., GABRIEL-MORALES, J. y MÁRQUEZ-HUITZIL, R. 2004. Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Instituto de Geografía de la UNAM y Secretaría de Desarrollo Social. Convenio SEDESOL-Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., México. 161 p.



RASHMI C., CHALUVAIAH, S. y KUMAR, G. H. 2016. An efficient parallel block processing approach for K-means algorithm for high resolution orthoimagery satellite images. *Procedia Computer Science*, 89, 623-631. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.06.025>

USGS, 2021. U.S. Geological Survey. [En línea]. [Consulta 15 de julio de 2021]. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2022 Javier Jiménez Pérez, Rufino Sandoval García, Eduardo Alanís Rodríguez, José Israel Yerena Yamallel, Oscar Alberto Aguirre Calderón

