

Antropización del Paisaje de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Anthropization the landscapes of the Metropolitan Zone of Toluca Valley

Marco Antonio CRUZ PERALTA*

Luis Giovanni RAMÍREZ SÁNCHEZ**

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar los grados de alteración antropogénica sobre la cobertura vegetal de los paisajes de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Para esto se aplicó el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (desarrollado por Shishenko en 1988), a la cartografía de los paisajes físico-geográficos de la zona. Los resultados indican que el territorio de estudio presenta áreas muy extensas, con alta modificación antrópica esto debido a que el relieve juega un papel significativo en el espacio geográfico de estudio. Se concluye que la evaluación presentada, aporta bases científicas importantes para la planificación de acciones de restauración, aprovechamiento y conservación del territorio, mientras que la metodología es fácilmente replicable en otras áreas geográficas.

Palabras clave: Antropización, paisajes físico-geográficos, cobertura vegetal.

* Mtro. en Análisis Espacial y Geoinformática, El Colegio Mexiquense A. C., <https://orcid.org/0000-0001-9035-6200>; Paisajes físico-geográficos, crecimiento urbano, cambios de uso de suelo, geoconservación, análisis espacial; mperalta1709@gmail.com

** Doctor en Geografía, Investigador por México CONACyT-El Colegio Mexiquense A. C., <https://orcid.org/0000-0003-0509-3413>; Análisis espaciotemporal, paisajes urbanos, Justicia espacial; lramirez@cmq.edu.mx

ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the degrees of anthropogenic alteration on the vegetation cover of the landscapes of the Metropolitan Zone of the Toluca Valley. For this, the Plant Cover Anthropization Index (developed by Shishenko in 1988) was applied to the map of the biophysical landscapes of the area. The results indicate that the study territory has very large areas, with high anthropic modification, due to the relief that plays a significant role in the study area. It is concluded that the presented evaluation provides important scientific bases for the planning of actions for restoration, use and conservation of the territory, while the methodology is easily replicable in other geographical areas.

Keywords: *Anthropization, physical-geographical landscapes, plant cover.*

INTRODUCCIÓN

La influencia de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas naturales han aumentado y provocado severos cambios negativos en el ambiente, esto trae como consecuencia la disminución de la calidad de vida de los habitantes actuales y complica el bienestar de las generaciones futuras (Bocco *et al.*, 2010). La crisis ambiental ocasionada por la sociedad se ha convertido en un tema de discusión permanente en organismos y conferencias relacionadas con el cuidado y protección del ambiente.

El estudio de la alteración del paisaje ocasionada por las actividades antrópicas es un problema que entra de lleno en los estudios geoecológicos. En este sentido Bertrand y Tricart (1968), mencionan que el paisaje resulta de la interacción dinámica de elementos físicos, biológicos y antropogénicos, los cuales están relacionados dialécticamente y hacen del paisaje un conjunto geográfico único e indivisible.

El concepto de antropización se ha manejado desde hace varias décadas, pero es hasta ahora que ha adquirido la relevancia necesaria para reconocer la transformación del espacio natural por la acción transformadora del hombre (Álvarez *et al.*, 2019; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2022). La antropización causada por procesos culturales, sociales y económicos establece uno de los principales factores de la degradación del espacio (Figueredo-Cardona *et al.*, 2011).

Los paisajes físico-geográficos ostentan diferentes niveles de alteración geocológica, que se manifiesta en pérdida de componentes, atributos y funciones, esto es resultado de las transformaciones sociales y económicas a los que son sometidos los territorios (Mateo y Ortiz, 2001). Esto trae consigo consecuencias negativas, como la pérdida de bio y geodiversidad, el descenso de servicios ecosistémicos, así como el aumento en el número de territorios en condiciones de riesgo ya sea de índole natural y/o social.

La principal causa de la pérdida de los elementos naturales del paisaje es la destrucción de hábitats por el cambio de uso de suelo, motivado por el aumento de la frontera agrícola, la expansión urbana y la escasa aplicación de los instrumentos de planificación, ordenación y gestión territorial (Ramírez-Sánchez, 2013). Toda actividad humana tiene un impacto negativo en el territorio ya sea de manera directa o indirecta, por lo que el estudio de la antropización de los paisajes se dirige en lo fundamental a la determinación y el análisis de los procesos referentes a la modificación y transformación de las unidades geocológicas, debido a causas de origen antrópico.

ANTECEDENTES

El paisaje desde una aproximación físico-geográfica lo podemos interpretar como una unidad de análisis espacial en donde la degradación geocológica se considera como la disminución de atributos y propiedades sistémicas e impiden el cumplimiento de determinadas funciones,

incluyendo las cuestiones socioeconómicas, los mecanismos de autorregulación y la capacidad productiva de los paisajes (Mateo y Ortiz, 2001). En ese sentido, Priego *et al.*, (2004) mencionan que la vegetación natural es el elemento indicador más significativo, en cuanto a la degradación del paisaje se refiere, debido a que revela de manera sintética los niveles de alteración geocológica existentes en un espacio determinado.

Ante la apremiante necesidad de reconocer nuevos territorios destinados a la conservación, restauración y/o aprovechamiento, los estudios paisajísticos han proporcionado bases para el desarrollo de diferentes enfoques, métodos y criterios, para representar un espacio determinado y comprender la presión social sobre los bienes naturales, por lo cual, es conveniente conocer el estado actual de una área geográfica particular con el fin de establecer proyectos, acciones y políticas en materia de gestión y planificación ambiental basadas en una visión holística, sistémica y dialéctica (Canchola *et al.*, 2015).

El análisis de la influencia antrópica sobre los ecosistemas se ha debatido desde diferentes perspectivas teóricas y metodológicas, las cuales son analizadas mediante enfoques descriptivos en su mayoría y poco integrados. Ante esta situación, se han implementado algunos métodos para realizar la evaluación cuantitativa de la antropización, tales como el Índice de Hemerobia para Paisajes (IHP) que proponen Steinhardt *et al.*, (1999), el cual es empleado para estudiar de manera integrada las intervenciones humanas sobre los paisajes. Así mismo, Martínez-Dueñas (2010) propone el Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA), este mismo se caracteriza por ser una medida que integra elementos relacionados a la cobertura vegetal, usos de suelo (agrícolas y rurales) y aspectos urbanos, mismos que le permitieron instaurar una medición cuantitativa y fidedigna de la variación espacial de la antropización.

Otra metodología empleada para el estudio de la antropización es el desarrollado por Magalhães *et al.*, (2015) al que le dieron como nombre de Índice de Antropización del Bosque Inundado (FFIA por sus siglas en inglés), dicho índice permite evaluar los niveles relativos de las perturba-

ciones antrópicas en los bosques de llanuras aluviales y con ello establecer la participación relativa de los tipos de perturbación en cada área.

El estudio de la antropización analiza principalmente los problemas referentes a la modificación y transformación de estos, debido a causas de origen antrópico. Si bien es cierto la antropización se ha estudiado dentro de varias disciplinas científicas, en estos tiempos de continuos cambios recobra un sentido ecológico significativo para aludir a la huella que la sociedad ha producido al planeta. El análisis de la antropización, en el tema ambiental contemporáneo, busca representar las dinámicas de cambio en el ambiente, y con ello formular métodos de estudio, seguimiento y restauración del territorio (Álvarez *et al.*, 2019).

En México el deterioro ambiental tiene como principal factor de influencia a la antropización, entendida como las transformaciones que las actividades humanas causan en los ecosistemas y expresadas principalmente en el uso del medio natural como recurso (Ramírez-Sánchez, 2009). En este sentido, Maya (2001), mencionó que la antropización se puede entender como el nivel de alteración de un ecosistema original por acciones antropogénicas, bajo ese concepto, podemos entender que un ecosistema transformado por el hombre para fines agrícolas tiene mayor probabilidad de regeneración, que un ecosistema modificado para fines urbanos, debido a que una zona urbana tiene más elementos antropogénicos (Lambin, 1994).

La presente investigación fue desarrollada en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), bajo el enfoque teórico-metodológico de la geoecología del paisaje, la cual tiene como propósito la obtención de un conocimiento sobre el medio natural en su interacción con las actividades humanas. Los resultados de la investigación ayudan en la búsqueda de sitios prioritarios de conservación y restauración, asimismo, es posible la formulación de estrategias y tácticas de optimización del uso del suelo, el manejo y la operatividad adecuada en tiempo y espacio, de cada una de las unidades paisajísticas (Mateo, 2002), también permitirá coadyuvar a

la toma de decisiones relacionadas al ordenamiento y planeación territorial de los municipios que integran la ZMVT.

Conocer el grado de antropización que guarda cada unidad de paisaje, servirá como punto de partida para la caracterización y medición de riesgos ecológicos y ambientales. Aunado a lo anterior, la cartografía elaborada podría tener un importante papel en la realización de tareas relacionadas con la planificación ambiental y territorial (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2021), finalmente con base en los resultados que se obtengan se puede desarrollar toda una estrategia de planificación de paisajes, acorde con las tendencias actuales para la aplicación de los conocimientos científicos en el aprovechamiento justo de los recursos naturales.

El territorio que abarca la ZMVT ha sufrido un deterioro ambiental, debido a que en épocas recientes ha presentado acelerados procesos sociales que generan cambios en el espacio (crecimiento del área urbana, modificaciones en la cobertura y usos del suelo, destrucción de hábitats, etc.). Uno de estos agentes modificadores del paisaje es la intrusión del hombre que, a través de la implementación de distintas actividades de índole socioeconómico modifica total o parcialmente el entorno, las cuales en muchas ocasiones carecen de una planeación previa que evalúe los efectos que puedan tener sobre el espacio lo que genera la desestabilización del sistema y su constante degradación. Ante esta situación, la presente investigación busca conocer los niveles de alteración paisajista a través de la antropización de la cobertura vegetal, lo que permitirá zonificar el territorio para establecer políticas ambientales y territoriales adecuadas sobre cada unidad espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente la ZMVT está integrada por 16 municipios¹, con una población aproximada de 2 353 924 de habitantes (INEGI, 2020). Es una de las 15 zonas metropolitanas con más de 1 millón de habitantes. Por su densidad poblacional la convierten en la quinta ciudad más importante del país. Además de la importante dinámica que presenta con la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y con la Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco (ZMST).

Para la implementación del Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV), se utilizó como base la cartografía de los paisajes físico-geográficos de la ZMVT, a escala 1: 50 000, Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022), el cual fue desarrollado a partir de la distinción y análisis de las unidades naturales espaciales objetivamente existentes, mismas que se definen por la uniformidad relativa de las condiciones naturales y el carácter específico de su estructura y funcionamiento. Obteniendo para el área estudio, un total de 37 localidades, 55 parajes complejos y 189 parajes simples.

Para conocer los grados de transformación antropogénica que presenta la cobertura vegetal de los paisajes físico-geográficos de la ZMVT, se utilizó el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV) (Shishenko, 1988), el cual se desarrolla bajo la siguiente ecuación:

$$IACV = \frac{\sum_{i=1}^n r_i * A_{ij}}{AT_j}$$

Donde:

IACV=Índice de antropización de la cobertura vegetal del paisaje.

r_i= Grado de transformación antropogénica de los paisajes del tipo i de utilización.

¹ Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Rayón, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec.

A_{ij} = Área dedicada al tipo de utilización i en el geocomplejo j .

AT_j = Área de la unidad de paisaje j .

El universo de estudio está acotado a la ZMVT, en el cual el eje rector de este trabajo es el paisaje, que se caracteriza por los subsistemas que lo componen y las relaciones que se desarrollan entre ellos. Para conocer los niveles de alteración antropogénica que presenta la cobertura vegetal de los paisajes físico-geográficos de la ZMVT, se utilizó el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV), (Shishenko, 1988), mismo que ha sido utilizado previamente por Priego *et al.*, (2004), Matews (2011), Campos-Sánchez *et al.*, (2012), Espinoza (2013), Domínguez-González (2017), Morales *et al.*, (2019) y Ramírez-Sánchez *et al.*, (2022), logrando resultados satisfactorios. Bajo este indicador, cada tipo de uso de suelo y vegetación que se encuentren dentro de una unidad de paisaje responderá a un peso relativo (en escala 0 a 1) según los niveles de alteración antropogénica que contenga; en este sentido, los valores máximos representan una mayor degradación geocológica y a valores menores se interpreta como una menor degradación. Para el presente trabajo, se adaptaron las ponderaciones a las condiciones físico-sociales de la zona (TABLA 1). Asimismo, se empleó la información de la composición en tipos de cobertura de cada geocomplejo; la cual se obtuvo de la serie VII de INEGI (INEGI, 2018), misma que se encuentra a una escala 1:250 000 y que fue adaptada para ser utilizada en la escala de trabajo de la presente investigación.

Tabla 1. Niveles de ponderación de acuerdo con el tipo de vegetación y uso de suelo.

Tipos de vegetación; serie VII de INEGI			Ponderación del grado de transformación antropogénica (ri)
Vegetación primaria	Bosque	Encino	0.01
		Encino-Pino	
		Oyamel	
		Pino	
		Pino-Encino	
	Tular		
	Pradera de alta montaña		
Vegetación secundaria arbórea	Bosque	Encino	0.15
		Encino-Pino	
		Oyamel	
		Pino	
		Bosque mesófilo de montaña	
Vegetación secundaria arbustiva	Bosque	Encino	0.15
		Oyamel	
		Pino	
		Pino-Encino	
Uso de suelo	Pastizales	Inducido	0.4
	Bosque	Cultivado	0.4
	Agricultura	Temporal	0.75
		Humedad	0.75
		Riego	0.75
	Asentamientos humanos		0.98
	Cuerpos de agua		0.03
	Desprovisto de vegetación		0.9
	Sin vegetación aparente		0.01

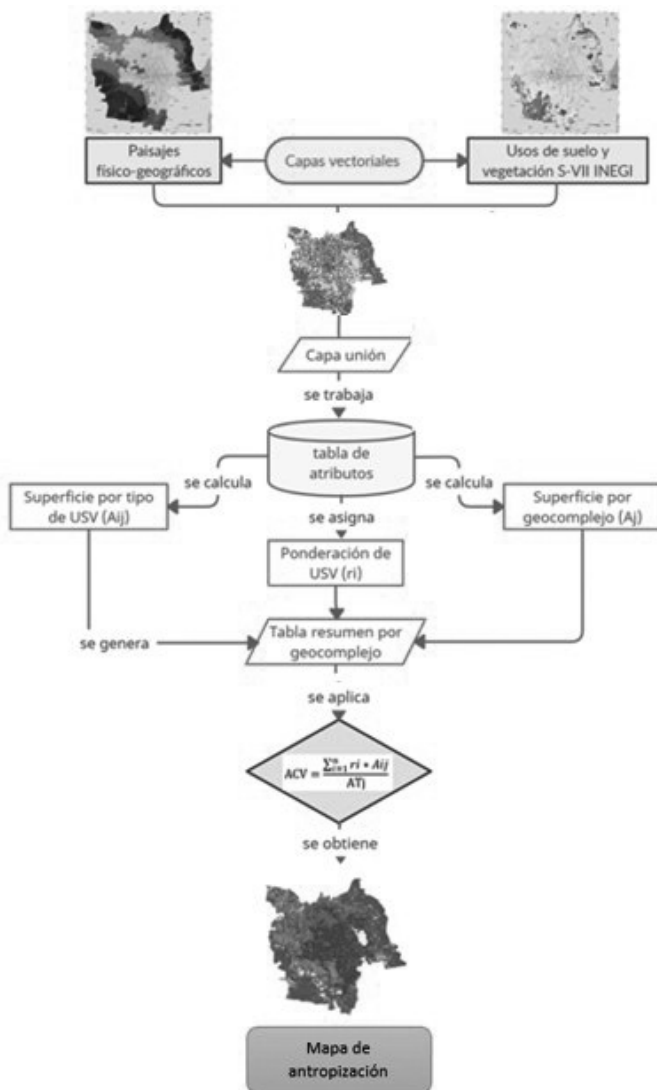
Fuente: Elaborado con base a Ramírez-Sánchez et al. (2022).

Este estudio, también se guía por las premisas de Mateo y Ortiz (2001) sobre la antropización de los paisajes como resultado de ideas teóricas y metodológicas, en donde se establecen a los geocomplejos naturales como la base para la evaluación de la transformación del espacio como resultado de las actividades socioeconómicas.

El método utilizado se empleó bajo una sucesión de pasos, donde la aplicación de la ecuación del IACV permitió la confección de un mapa en el cual se utilizó el método de clasificación de Rupturas naturales (Jenks)² donde se definieron cinco categorías: Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo (FIGURA 1).

² Es un método que busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre clases. Esto lo logra minimizando la desviación promedio de cada clase con respecto a la media de la clase, mientras se maximiza la desviación de cada clase con respecto a las medias de las otras clases (Esri, 2018).

Figura 1. Flujoograma resumen para la obtención del mapa de antropización.



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Las actividades antrópicas que se desarrollan en la ZMVT tienen una relación directa con el uso y ocupación del territorio, donde la acción humana ha producido efectos y alteraciones en los sistemas naturales, algunos positivos (creación de zonas de protección y restauración), otros negativos (minería, crecimiento urbano no planificado, entre otros), en consecuencia del uso intenso, acelerado y en algunas ocasiones desmedido de los recursos naturales, superan los tiempos de regeneración del sistema natural, dando como resultado la degradación del espacio y que impide el cumplimiento de determinadas funciones (Bifani, 2007).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el territorio que comprende la ZMVT se caracteriza por tener una elevada antropización de sus paisajes. Esto se ve reflejado en la cobertura vegetal de un gran número de geo-complejos, los cuales poseen altos a muy altos grados de transformación antrópica (TABLA 2); las definiciones de los grados de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes se presentan en la TABLA 3.

Tabla 2. Superficie ocupada por las categorías del IACV.

Categoría	Superficie en km ²	Porcentaje
Muy alta	626.30	25.95
Alta	906.83	37.58
Media	361.48	14.98
Baja	179.93	7.46
Muy baja	338.58	14.03

Fuente: Elaboración propia. A partir de Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022).

Tabla 3. Definición de los grados de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes.

GACV ³	Rango del IACV	Definición
Muy Bajo	$IACV \leq 0.263$	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o semi-natural en más de 90 % del CTN. Menos de 10 % se aprovecha en actividades agropecuarias, usos urbanos y/o industriales.
Bajo	$0.264 < IACV < 0.419$	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o semi-natural en más de 55-60 % del CTN. Menos de 10 % se aprovecha en actividades agrícolas en 25 %; no se encuentran elementos urbanos y/o industriales.
Medio	$0.420 < IACV < 0.631$	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o semi-natural en más del 15-20 % del CTN. Las actividades agropecuarias se desarrollan hasta en 80 % del territorio y se encuentran elementos urbanos y/o industriales.
Alto	$0.632 < IACV < 0.755$	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o semi-natural en más de 2-3 % del CTN. Más de 80 % se aprovecha en actividades agropecuarias y se encuentran elementos urbanos y/o industriales hasta en 17 % del geosistema.
Muy Alto	$IACV \geq 0.756$	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o semi-natural en menos de 0.5 % del CTN. En más del 80 % se aprovecha para usos urbanos y/o industriales el 20 % restante está integrado por actividades agropecuarias.

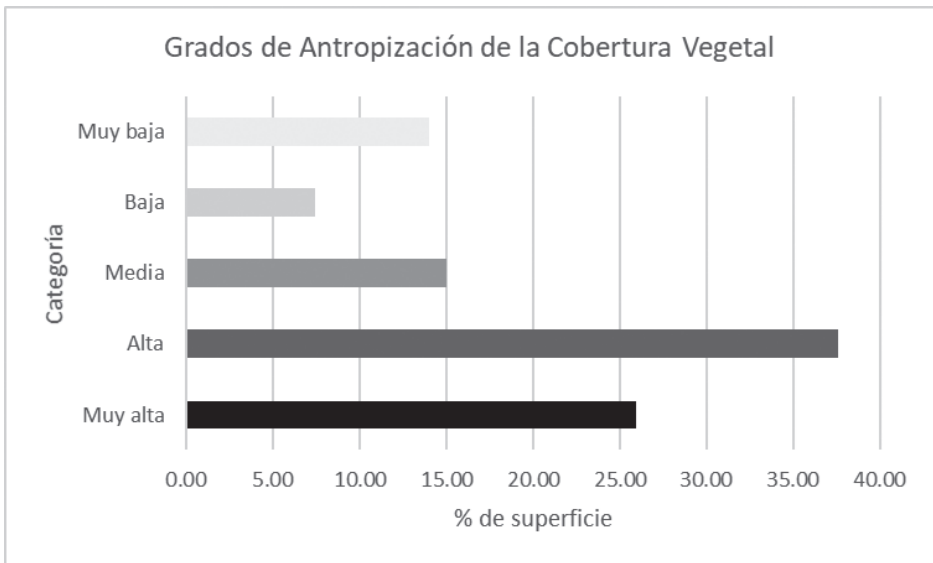
Fuente: Tomado y modificado de Ramírez-Sánchez (2022).

En la ZMVT predominan los geosistemas con alto y muy alto grado de antropización de su cobertura vegetal, con una superficie de 37.58 y 25.95% del territorio, que en conjunto suman el 63.53%; le siguen los paisajes con un grado de antropización de media, muy baja y baja, con

3 GACV: Grado de antropización de la cobertura vegetal.

una superficie de 14.98, 14.03 y 7.46% del área respectivamente, los cuales suman el 36.47% del total de la superficie la zona (FIGURA 2).

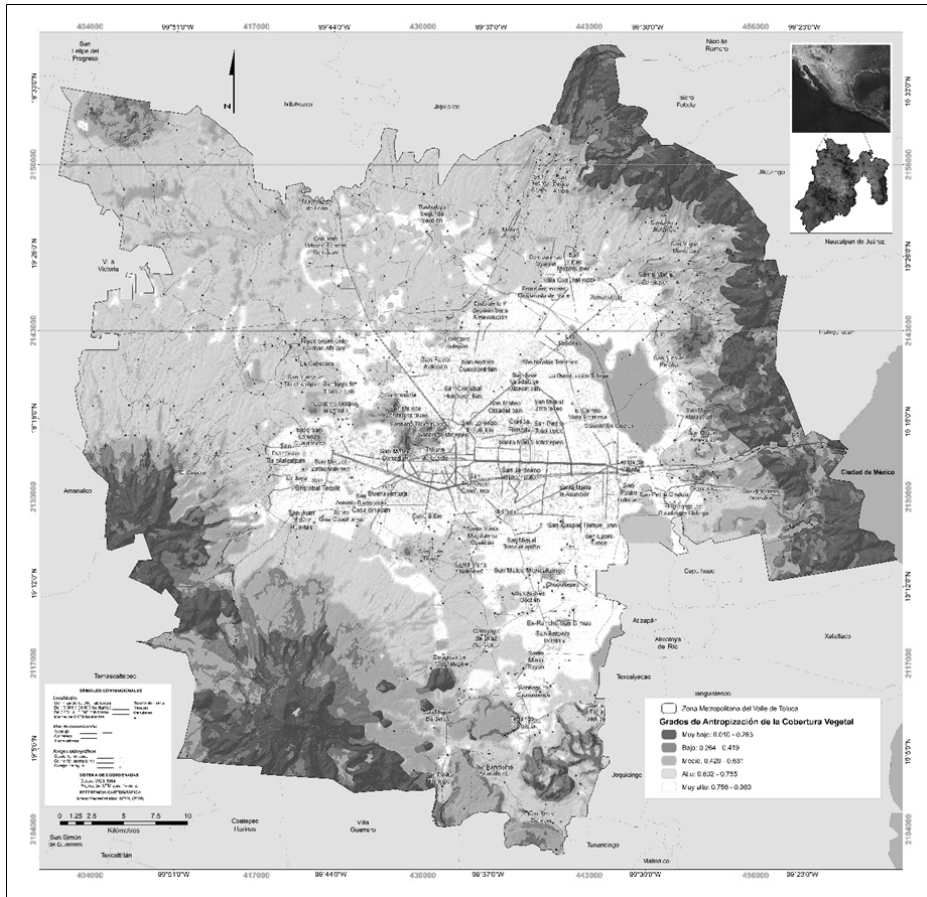
Figura 2. Grados de antropización de la cobertura vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del IACV indican que las áreas de mayor antropización (rangos altos a muy altos), se encuentran en zonas que tienen grandes centros urbanos, de igual manera se puede apreciar en áreas que presentan un alto índice de actividad agrícola y/o agropecuaria, esto debido a que las condiciones morfológicas en las que se desarrollan consisten principalmente en planicies, ver FIGURA 3.

Figura 3. Representación espacial de la transformación de la cobertura vegetal de los paisajes de la ZMVT.

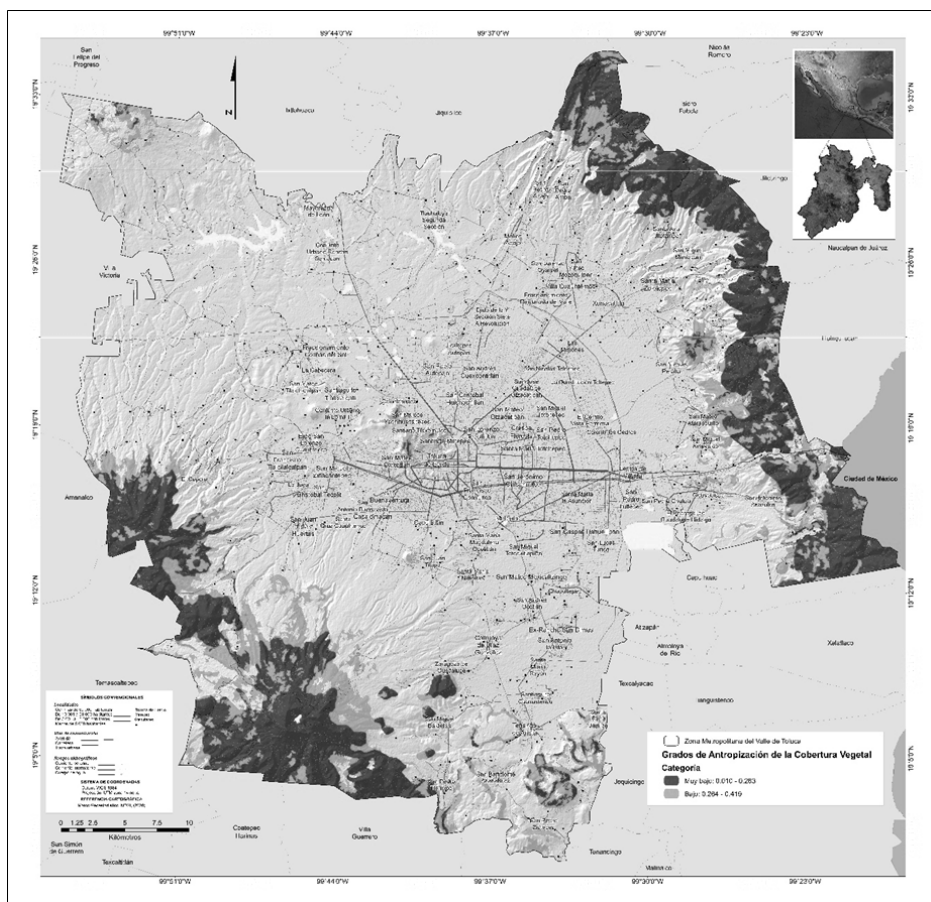


Fuente: Elaboración propia a partir de Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022). Ilustrador: ArcGIS 10.5 (2016).

Los grados de antropización muy bajo y bajo se distribuyen de manera continua en los sectores NE (Sierra de las Cruces) y SO (Nevado de Toluca) de la ZMVT y a manera de parches se pueden encontrar en las cimas

de las elevaciones que se distribuyen en el área, estos niveles de antropización se deben a la complejidad orográfica en la que se distribuyen y que permite en cierto modo una mayor “*conservación*” natural (FIGURA 4).

Figura 4. Representación espacial de los grados de antropización Muy bajo y Bajo.

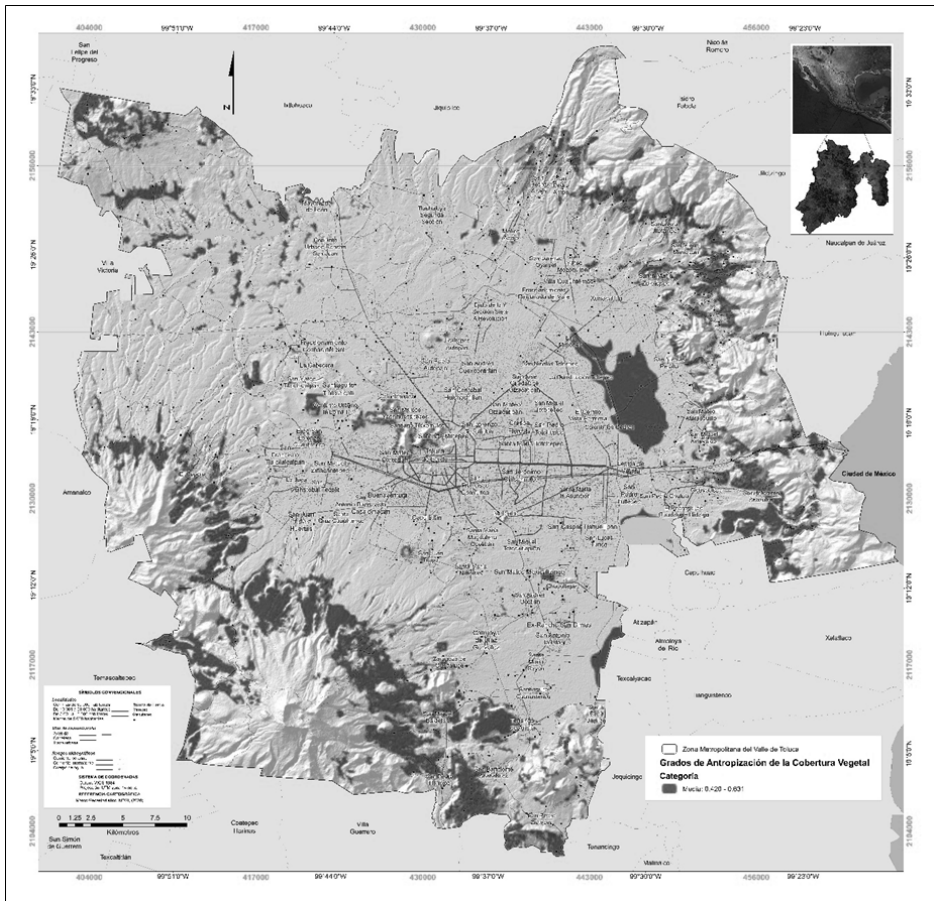


Fuente: Elaboración propia a partir de Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022). Ilustrador: ArcGIS 10.5 (2016).

Los geosistemas bajo la categoría media se distribuyen a manera de parches por toda la ZMVT; sin embargo, estos presentan mayor representatividad en los sectores NE, SO y NO, debido a los cambios de uso de suelo que se han presentado en los últimos años, los cuales pasaron de tener una vocación natural a estar condicionados por la expansión de la frontera agrícola, caso concreto en la zona del Nevado de Toluca, en la que se sustituyen zonas boscosas por cultivos de papa y en el caso de las denominadas Ciénegas de Lerma, las cuales el impacto de la antropización es aún más evidente por la conjugación de varios elementos entre los que destaca la morfología de la zona, la accesibilidad, la disponibilidad de servicios, zona de transición entre la ZMVT y ZMVM, mismas que han permitido una intensa expansión urbana (FIGURA 5).

Otro elemento a considerar dentro de estas categorías es el crecimiento urbano de la ZMVT, cuya expansión hacia la periferia, es producto de la interconexión que tiene el municipio de Toluca con los circunvecinos. Es importante agregar que la construcción de servicios y equipamientos de cobertura nacional e incluso internacional (industrias, escuelas de nivel superior, central de autobuses, aeropuerto, autopistas, etc.) (Valdés y Jiménez, 2021), que representan un flujo constante de la población lo que genera alteración del espacio físico y repercute en la modificación de la cobertura vegetal.

Figura 5. Representación espacial de los grados de antropización Medio.



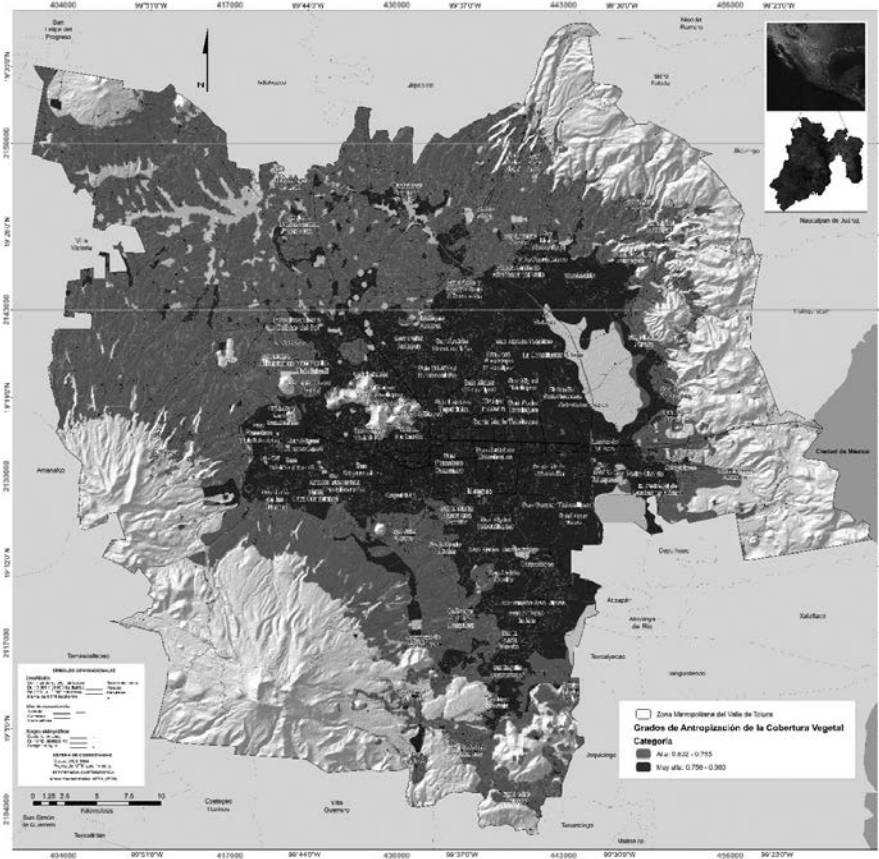
Fuente: Elaboración propia a partir de Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022). Ilustrador: ArcGIS 10.5 (2016).

Finalmente, los grados antropización muy alto y alto los cuales se distribuyen en el sector central de la ZMVT, con tendencia de crecimiento hacia el sector E de esta. Los resultados nos indican que las áreas de mayor antropización se encuentran en zonas con grandes centros urbanos

(por ejemplo: Toluca, Metepec, Lerma, San Mateo Atenco, Zinacantepec, entre otros), de igual manera se puede apreciar que dichos niveles se disponen en zonas con alta actividad agrícola (por ejemplo: Almoloya de Juárez, Temoaya, Calimaya, entre otros) (FIGURA 6).

La transformación del territorio de la ZMVT, se generó principalmente por la industria que llegó a esta zona del territorio mexiquense en la década de los años 60 (García-González *et al.*, 2015), esto trajo consigo una serie de procesos sociales entre los que destaca el crecimiento demográfico, el cual propició el uso de una gran cantidad de territorio con el fin de satisfacer las necesidades básicas de la población creciente (vivienda, carreteras, etc.). Las consecuencias de este proceso descontrolado por parte de los habitantes repercutieron en el espacio natural, debido a la constante demanda de recursos que el entorno podía brindar (madera, agua, zonas para cultivos, zonas para desarrollos habitacionales, etc.).

Figura 6. Representación espacial de los grados de antropización Muy Alto y Alto.



Fuente: Elaboración propia. a partir de Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2022). Ilustrador: ArcGIS 10.5 (2016).

Para fortalecer la correlación espacial entre los grados de antropización de la cobertura vegetal y la estructura geomorfológica de los paisajes físico-geográficos, se realizó una prueba estadística que permitió calcular los niveles de significación de las categorías mediante una tabla cruzada

(TABLA 4), y la prueba de relación de Chi cuadrada de Pearson (TABLA 5), la cual nos indicó que existe una relación significativa entre las características morfológicas del relieve y la antropización calculada.

Tabla 4. Tabla cruzada: Geoforma vs categoría GACV.

		Muy baja Baja	Categoría de GACV				Total	
			Media	Alta	Muy alta			
Geoforma	Montañas	Recuento de geocomplejos	850	508	489	339	39	2225
		% dentro de geoforma	38.2%	22.8%	22.0%	15.2%	1.8%	100.0%
		% dentro de categoría	91.2%	91.0%	59.9%	27.7%	5.5%	52.5%
		% del total	20.0%	12.0%	11.5%	8.0%	0.9%	52.5%
	Lomeríos	Recuento de geocomplejos	2	0	88	314	33	437
		% dentro de geoforma	0.5%	0.0%	20.1%	71.9%	7.6%	100.0%
		% dentro de categoría	0.2%	0.0%	10.8%	25.6%	4.7%	10.3%
		% del total	0.0%	0.0%	2.1%	7.4%	.8%	10.3%
	Piedemonte	Recuento de geocomplejos	0	13	210	224	0	447
		% dentro de geoforma	0.0%	2.9%	47.0%	50.1%	0.0%	100.0%
		% dentro de categoría	0.0%	2.3%	25.7%	18.3%	0.0%	10.5%
		% del total	0.0%	.3%	5.0%	5.3%	0.0%	10.5%
	Valles	Recuento de geocomplejos	80	37	24	8	1	150
		% dentro de geoforma	53.3%	24.7%	16.0%	5.3%	0.7%	100.0%
		% dentro de categoría	8.6%	6.6%	2.9%	0.7%	0.1%	3.5%
		% del total	1.9%	0.9%	0.6%	0.2%	0.0%	3.5%
	Planicies	Recuento de geocomplejos	0	0	6	341	635	982
		% dentro de geoforma	0.0%	0.0%	0.6%	34.7%	64.7%	100.0%
		% dentro de categoría	0.0%	0.0%	0.7%	27.8%	89.7%	23.2%
		% del total	0.0%	0.0%	0.1%	8.0%	15.0%	23.2%

Muy baja Baja		Categoría de GACV					Total
		Media	Alta	Muy alta			
Total	Recuento de geocomplejos	932	558	817	1226	708	4241
% dentro de geoforma	22.0%	13.2%	19.3%	28.9%	16.7%	100.0%	
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	
% dentro de categoría	22.0%	13.2%	19.3%	28.9%	16.7%	100.0%	
% del total							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Prueba de chi-cuadrado.

	Valor	Grados de libertad	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	3803.897 ^a	16	0.000
Razón de verosimilitud	4061.554	16	0.000
N de casos válidos	4241		
a. 0 casillas (0.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 19.74.			

Fuente: Elaboración propia.

El valor de la estadística del chi cuadrado fue de 3803.897, por su parte, el valor de significancia asintótica fue de 0.000, por lo que, el resultado es significativo debido a que no cumple con lo establecido en la hipótesis nula, la cual afirma que dos variables son independientes entre sí cuando el valor p es mayor que el valor alfa estándar o designado (normalmente 0.05).

En este caso, el valor p es menor que el valor alfa estándar, por lo que rechazaríamos la hipótesis nula que afirma que las dos variables son independientes entre sí. En pocas palabras, el resultado es claro: los datos sugieren que las variables geoformas y categorías de GACV se encuentran asociadas una de otra.

De acuerdo con la tabla cruzada, la geoforma condiciona directamente los niveles de antropización, siendo así que, la categoría muy baja y baja se establece principalmente en paisajes de montañas y valles con un valor porcentual de 34.8% respecto al total. Las condiciones bióticas y abióticas presentes en esas unidades espaciales favorecen el desarrollo de zonas boscosas las cuales aún no presentan un grado de antropización alto y conservan su estado “natural”.

La categoría media se distribuye significativamente sobre unidades de relieve de tipo montañas, lomeríos y piedemonte, lo que representa el 18.6% respecto al total, estos dos elementos morfológicos se ven condicionados por la expansión urbana, los distintos tipos de agricultura y el desarrollo de pastizales.

Respecto a la categoría alta y muy alta, estas se encuentran presentes en paisajes constituidos geoformas de tipo montañas, lomeríos, piedemonte y planicies que en su conjunto abarca el 45.4% tomando como base el total; dentro de las primeras tres categorías de geoformas, la antropización se debe principalmente por actividades relacionadas a la minería, agricultura, aprovechamiento forestal, deforestación, asentamientos humanos irregulares, entre otros. Finalmente, para las planicies el principal factor que altera el paisaje es el uso urbano intenso que se presenta en la ZMVT, la cual es una mezcla entre actividades agrícolas, industriales y de comercio y servicios, mismos que se desarrollan por toda la parte central del área metropolitana y que obedece a las condiciones morfológicas presentes, siendo así que, la ocupación humana en zonas planas se explica por el acceso a diversos recursos como el agua, suelos fértiles, materiales de construcción, facilidad para el transporte y la importancia económica que se puede generar de ellas (Gutiérrez-Elorza, 2009).

Los procesos de alteración geocológica que son representados por medio de las categorías del IACV, reflejan la correlación espacial con los elementos morfológicos y morfométricos de los paisajes. La relación se hace evidente en los geocomplejos que están formados por zonas de planicie, debido a que manifiestan elevados grados de antropización; por otro lado, la mayoría de las unidades físico-geográficas con un relieve complejo (montañoso), se caracterizan por tener bajos a muy bajos niveles de alteración antrópica. Bajo esta perspectiva se puede determinar que el uso y ocupación del territorio está condicionado y sigue un orden “lógico”, debido a que los paisajes con pendientes relativamente bajas, elevada disponibilidad de recursos hídricos, fácil accesibilidad, así como suelos ricos en nutrientes, generan un mayor interés para usos de suelo de características agrícolas y urbanas, siendo así que estas unidades representan los espacios territoriales con una mayor asimilación socioeconómica dentro de la ZMVT. Por otra parte, los paisajes que poseen categorías de niveles bajos a muy bajos se distinguen de las demás por ser zonas en donde la accesibilidad es menor, la pendiente es abrupta y la cobertura de suelo que presenta en su mayoría son boscosas; lo que favorece a que se presenten espacios donde las comunidades vegetales se encuentran “conservadas” o no alteradas drásticamente. Bajo esta premisa, es posible que en ellas se desarrollen niveles altos de geo y biodiversidad, mismos que se pueden justificar por la presencia de Áreas Naturales Protegidas como el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca y Parque Estatal Otomí-Mexica entre otros que se encuentran en zonas montañosas.

Con relación a los geocomplejos de categoría media, se pueden considerar como zonas de transición entre los paisajes de mayor y menor alteración geocológica; por ende, los consideramos como los territorios o unidades sujetas a procesos de elevada transformación socioeconómica, en donde, los cambios de uso de suelo están en constante dinámica, generado con ello, la presencia de procesos relacionados con la degradación ambiental. Las unidades físico-geográficas que integran la categoría media de antropización simbolizan en algunas ocasiones una marcada

problemática ambiental y social, debido a que existe una incongruencia entre la composición y vocación natural de las unidades paisajísticas y el uso de suelo que se le da o el que se proyecta. Ante este panorama, es necesario construir nuevos esquemas socioeconómicos que establezcan una relación acorde con el espacio. Finalmente, con relación a los geo-complejos de categoría muy alta, es evidente reconocer que hace falta mejorar la relación existente con el entorno ecológico. Por lo que, es necesario trabajar en modelos de un desarrollo urbano que cumplan con los parámetros necesarios en relación con las condiciones físicas y sociales de la zona, en donde se promueva la recuperación y restauración de zonas arboladas, con la finalidad de reducir impactos sociales negativos, asimismo, la apertura de parques urbanos y, sobre todo, se evite el crecimiento de la zona urbana sobre espacios que no tengan la aptitud suficiente para soportar actividades humanas.

A diferencia de estudios previos como el de Morales et al., (2019) y Ramírez-Sánchez et al., (2022), que abordan el tema de la antropización del paisaje, este trabajo se desarrolló en una Zona Metropolitana donde los niveles de alteración geocológica son más evidentes debido a los vínculos que se establecen entre la zona urbanizada y el entorno inmediato que está integrado por elementos de características antro-po-naturales. Sabemos que, la actividad humana juega un papel importante en la intensidad de los procesos que modifican total o parcialmente el paisaje, las condiciones espaciales de cada zona de estudio son distintas y se rige por los elementos de su estructura vertical y horizontal, así como del uso, ocupación y aprovechamiento que se le da a cada espacio.

CONCLUSIONES

La metodología empleada permitió conocer el grado de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes del territorio y su distribución espacial.

Los resultados obtenidos parecen coherentes debido a que las zonas con alto y muy alto grado de antropización se encuentran localizadas

donde se desarrollan actividades agrícolas y/o agropecuarias intensas, así como en los centros urbanos presentes en la ZMVT.

El índice de antropización utilizado reveló que predominan los grados de antropización alto y muy alto con un total de 63.53% de la superficie de la zona. En estos geocomplejos, deberían evaluarse los potenciales naturales para aprovecharlos de forma óptima e implementar proyectos de ecorehabilitación en aquellos cuyo manejo actual es incompatible con su potencial natural.

En contraste, tenemos que el 36.47% de superficie está cubierto por los grados de antropización media, baja y muy baja, infiriendo que estos geocomplejos se encuentran en una situación que garantiza la implementación de estrategias de planificación del ordenamiento ecológico, las cuales pueden garantizar la conservación de los paisajes, impidiendo que pasen a otras categorías de antropización mayor, sin embargo, es importante proponer estrategias y medidas de gestión y aprovechamiento territorial con base en sus atributos físico-naturales y que vayan de acuerdo a su vocación natural.

Con la finalidad de disminuir la intensa urbanización, sería recomendable que modificaran los modelos actuales de aprovechamiento y ocupación del territorio, de manera tal que no se incrementen, encaminando las estrategias hacia un manejo sustentable de los recursos promoviendo la creación, restauración y conservación de las áreas verdes de los centros urbanos y llevando a cabo estrategias que guíen hacia la reducción de la frontera agrícola.

REFERENCIAS

- Álvarez, F., Ornelas, C. y Wegier, A. (2019). *Antropización un término viejo con un nuevo significado*. En Ornelas-García, C. P., Álvarez, F. A. y Wegier, A. (eds.), *Antropización: primer análisis integral*, ibunam, CONACYT. 15-22.
- ArcGIS 10.5 (2016). GIS Software. ESRI, New York.

- Bertrand, G. y Tricart, J. (1968). *Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique to cite this version*: HAL Id: hal-02611126
Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique, *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 39(3), 249–272.
- Bifani, P. (2007). *Medio Ambiente y Desarrollo*, Editorial Universitaria, Guadalajara, Jalisco, México.
- Bocco, G., Mendoza, M. E., Priego, A. G. y Burgos, A. (2010). *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial*. Primera edición. Morelia
- Campos-Sánchez, M., Velázquez, A., Skutsh, M., Boada M. y Priego, A. G. (2012). *An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico*, *Applied Geography* 32(2), 409-419.
- Canchola, Y. G., Balderas, M. Á., Espinosa, L. M. y Ortiz, M. A. (2015). Valoración de la degradación geoecológica del paisaje como fundamento para la gestión ambiental, *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 6(13), 89–106.
- CONAPO (2012). Delimitación de Zonas Metropolitanas de México 2010. México, D.F.
- Cruz-Peralta, M. A. (2020). *Análisis del potencial paisajístico-geológico-geomorfológico de la Sierra Gorda de Querétaro como estrategia de geoconservación y desarrollo local en el marco de un geoparque*. [tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109552>
- Cruz-Peralta, M. A. y Ramírez-Sánchez, L. G. (2022). *Paisajes físico-geográficos de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. El Colegio Mexiquense A. C., <https://casiopea.cmq.edu.mx/arcgiscmq/apps/sites/#/zmv-1Domínguez>
- González, A. (2017). Landscapes stability of facção hydrographic micro-basin, Cáceres-mt, Brazil, *Ciência Geográfica* 21(1), 47-62.
- Espinoza, A. (2013). *Paisajes antropo-naturales en Tzintzuntzan y sus alrededores* [tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de

- México]. TESIUNAM <http://132.248.9.195/ptd2013/junio/0696696/Index.html>
- Figueredo-Cardona, L. M., Ramírez-Deroncé, R. N. y Acosta-Cantillo, F. (2011). Estudios sucesionales en un sitio antropizado en ecótopo de bosque semidecídúo micrófilo en Juticé, Santiago de Cuba. *Forresta Veracruzana*, 13(1), 15-22: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719786003>
- García-González, M. de L., Adame-Martínez, S. y Sánchez-Nájera, R. M. (2015). Expansión metropolitana de Toluca: caso de estudio municipio de Calimaya, México. *Revista Quivera*. 35-53
- Gutiérrez-Elorza, M. (2009). *Geomorfología*. Prentice-Hall. Madrid, España.
- INEGI. (2018) *Carta digital de vegetación y uso del suelo*, Serie VII. 1:250 000., México.
- Lambin, E. F. (1994). *Modeling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites (TREES)*. Trees series: Research Report No. 1. Publicado por la Unión Europea, Luxemburgo, 113.
- Magalhães, J. L., Lopes, M. y Lima de Queiroz H. (2015). Development of a Flooded Forest Anthropization Index (FFAI) applied to Amazonian areas under pressure from different human activities, *Ecological Indicators* 48, 440-447.
- Martínez-Dueñas, W.A. (2010). INRA Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación, *Rev. Intropica* 5, 45-54.
- Mateo, J. M., da Silva, E. V. y Cezar, A. (2012). Paisaje y geosistema: Apuntes para una discusión teórica, *Revista GeoNorte*, 1(4), 78-89.
- Mateo, J. M. (2002). Geografía de los paisajes, en Ministerio de Educación Superior, U. de la H. F. de G. (ed.) *Paisajes Naturales*. La Habana, Cuba, 190.

- Mateo, J. M. y Ortiz, M. A. (2001). La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica, Serie varia - Instituto de Geografía. UNAM. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Matews, J. (2011). Evaluación de la modificación edafo-biógena de los paisajes en Michoacán, México, *Investigación y Amazonia 1*, (2) 78-84.
- Maya, A. A. 2001. *El retorno de Ícaro. Muerte y vida de la filosofía. Una propuesta ambiental. La razón de la vida VI*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Cali. pp. 294.
- Morales, H., Priego, Á. G., Bollo, M. y José, M. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México, *Papeles de Geografía*, 65, 139–154. <http://dx.doi.org/10.6018/geografia.396571>
- Priego, Á. G., Bocco, G., Mendoza, M., y Garrido, A. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. Primera edición. INE-SEMARNAT. México, DF.
- Ramírez-Sánchez, L. G. (2013). *Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán*. [Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/ptd2013/julio/0697939/Index.html>
- Ramírez-Sánchez, L.G., Priego, A.G. y Bollo, M. (2022). Modificación antropogenética de la cubierta vegetal de los paisajes naturales de Michoacán. Arredondo, C. (ed.), *Paisaje y territorio en el occidente michoacano*. 215-244.
- Ramírez, B. R. y López, L. (2015). *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo*. Instituto de Geografía; Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. México.
- Priego, A. G., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N. y C., Enríquez. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica nueva época*. 71. 23-38.
- Shishenko, P. G. (1988). Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. *Geografía Física Aplicada*. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania. 195.

- Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller E. y Lehmann, S. (1999). Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation, en Pykh, Y.A., Hyatt, D. E., Lenz R. J. (eds.), *Enviromental Indices -System Analysis Approach*, Oxford, EOLSS Publ. 237-254.
- Valdés, D. y Jiménez, P. (2021). Proceso de metropolización, dinámica económica y demográfica en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT). In: Wong González, P., Isaac Egurrola, J. E., Morales García de Alba, E. R. y Treviño Aldape, A. [Coords.] (2021). *La dimensión global de las regiones y sus reconfiguraciones económicas y urbanas*. (Vol. II). Edit. Universidad Nacional Autónoma de México.