

La evaluación de la antropización de los paisajes en áreas naturales protegidas mediante indicadores cuantitativos: Estudio de caso en la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, México

The assessment of landscape anthropization in natural protected areas using quantitative indicators: A case study of the Pico Azul-La Escalera Environmental Protection Zone in Mexico

Adonis Maikel Ramón Puebla¹, Eduardo Salinas Chávez², Alberto E. García-Rivero³, Manuel Bollo Manent⁴, Miguel Ángel Porres García⁵

[Recibido: 15 de octubre 2024, Aceptado: 14 de enero 2025, Corregido: 20 de enero 2025, Publicado: 19 de marzo 2025]

Resumen

[Introducción]: El proceso de antropización ha implicado transformaciones que conducen a cambios en la composición, la estructura, el funcionamiento, la dinámica y la evolución de los paisajes. Evaluarlo es esencial para medir los impactos que ocasiona el ser humano en las áreas naturales protegidas. **[Metodología]:** La investigación se propone tomando como caso de estudio la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, en México, y como unidad espacial, los paisajes antroponaturales. El análisis comparativo de los resultados evalúa la antropización para este territorio, utilizando los indicadores grado de naturalidad (Gn) de Bollo y Velazco; índice de antropización de la cubierta vegetal (IACV) de Shishenko; coeficiente de transformación antropogénica de Shishenko (KAN); índice de degradación de la tierra (LDI) de Rulev, y grado de hemerobia (M) de Steinhardt y colaboradores. **[Resultados]:** De los 5 indicadores evaluados, solo el KAN y M presentan resultados congruentes, al compararlos con las 5 categorías establecidas *a priori* mediante el método estadístico del rompimiento natural, con una correspondencia de más del 90 % y 98.53 %, respectivamente. Los peores resultados concernieron al índice de degradación de la tierra, al índice de antropización de la cubierta vegetal y al grado de naturalidad, con un 46.32 %, 52.2 % y 53.68 %, respectivamente. **[Conclusiones]:** Los resultados obtenidos sobre M pueden contribuir a generalizar su aplicación, para categorizar los rangos derivados de este indicador en ANP, con base en que es el que mejores resultados ofrece, por el citado método de distribución de las categorías.

1 Estudiante doctorando, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental - Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, México. adonis.maikel@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2515-2508>

2 Académico, Instituto de Desarrollo Regional - Universidad de Granada, Centro de Documentación Científica, Granada, España. eduardosalinas@ugr.es; <https://orcid.org/0000-0001-5976-0475>

3 Académico, Departamento Académico de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, albertoeriquegarcia@unmsm.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-8344-9529>

4 Académico, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, México. mbollo@ciga.unam.mx; <https://orcid.org/0000-0003-2254-6816>

5 Académico, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, México. miguelangelporresgarcia@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6159-2132>



Palabras clave: coeficiente de transformación antropogénica; grado de naturalidad; hemerobia; índice de antropización de la cobertura vegetal; índice de degradación de la tierra; paisajes antroponaturales.

Abstract

[Introduction]: The process of anthropization involves transformations that lead to changes in the composition, structure, functioning, dynamics, and evolution of landscapes. Its evaluation is essential for measuring the impacts caused by human activities in natural protected areas. **[Methodology]:** The research proposes taking as a case study the Pico Azul-La Escalera Environmental Protection Zone, in Mexico, and as a spatial unit, the anthroponatural landscapes. The comparative analysis of the results evaluates anthropization for this territory, using indices degree of naturalness (Gn) of Bollo and Velazco; index of anthropization of the vegetation cover (IACV) of Shishenko; coefficient of anthropogenic transformation of Shishenko (KAN); land degradation index (LDI) of Rulev, and degree of hemerobia (M) of Steinhardt and collaborators. **[Results]:** Of the 5 indices evaluated, only the KAN and the M offer congruent results when compared with the 5 categories established a priori, using the statistical method of natural breakdown, with a correspondence of more than 90 and 98.53 %, respectively. The worst results corresponded to the land degradation index, the anthropization of vegetation cover index and the degree of naturalness with 46.32 %, 52.2 % and 53.68 %, respectively. **[Conclusions]:** The results obtained here on M can contribute to generalizing its application to categorize the ranges resulting from applying this indicator in natural protected areas from being the one that offers the best results by the method of distribution of the categories.

Keywords: anthronatural landscapes; coefficient of anthropogenic transformation; degree of naturalness; hemerobia; index of anthropization of vegetation cover; land degradation index.

1. Introducción

Desde el surgimiento de la humanidad y con su posterior desarrollo, su actuación sobre los recursos naturales ha modificado, de forma sistemática y acelerada, el intercambio normal de materia y energía en los paisajes que cubren la superficie del planeta, lo que se refleja en importantes modificaciones cuantitativas y cualitativas en ellos, por ejemplo, la degradación. Este proceso, conocido en la geografía como antropización, fue definido por (Mateo & Ortiz (2001, p. 13) como “las transformaciones sociales y económicas, que experimentan los paisajes por la actividad humana, que ocasionan la pérdida de sus condiciones naturales, en particular su naturalidad y la modificación de sus componentes, atributos y funciones, lo que se expresa por distintos niveles de degradación geoecológica”.

Abordar la modificación o transformación de los paisajes por las actividades humanas ha sido una temática recurrente en la geografía desde hace décadas, a pesar de que algunas personas autoras señalan “que no es necesario, pues todos los paisajes existentes en la superficie de nuestro planeta son artificiales o culturales por la acción de la sociedad sobre estos desde la aparición de la agricultura, la Revolución Industrial con posterioridad y el intenso desarrollo socio económico del siglo XX” (Diegues, 2008, p. 14).

Trischler (2017) y Junior (2023) se refieren a lo descrito como el comienzo de un nuevo periodo geológico al que se denomina Antropoceno, caracterizado por transformaciones humanas



extremas en el planeta y los consecuentes cambios globales del ambiente, los cuales modifican las propiedades, componentes y procesos de los paisajes de la superficie terrestre. Ello refuerza la necesidad de realizar estudios que aborden cuantitativamente la antropización, para poder evaluar cuán lejos se ha llegado en la modificación del medio natural y poder pronosticar tanto las tendencias futuras como el camino para nuestra adaptación.

Evaluar la antropización desde el paisaje, según [Torres-Gómez et al. \(2009\)](#), permite abordar el estudio de la modificación antropogénica de aquel en su conjunto ([Ramón & Bollo, 2023](#)), a diferencia de otros métodos que emplean indicadores biológicos, como la diversidad de algunas especies de insectos ([Battiston et al., 2020](#)), moluscos ([Urbano et al., 2019](#)), inventarios florísticos en parcelas aleatorias en el terreno o transectos preestablecidos ([Griffin et al., 2021](#); [Taft et al., 2006](#)). En línea con este planteamiento, [Priego et al. \(2004\)](#) afirman que la antropización puede estudiarse a partir del análisis del uso del suelo y el estado de la vegetación junto con su cambio, ya que es el reflejo sintético de los niveles de alteración geoecológica existentes en un paisaje determinado.

Entre los indicadores y coeficientes más utilizados en el nivel mundial para evaluar la antropización de los paisajes se encuentran: el grado de naturalidad (Gn) ([Bollo & Velazco, 2018](#)); el índice de antropización de la cubierta vegetal (IACV) ([Bollo & Velazco, 2018](#); [Cruz-Paz et al., 2018](#); [Morales et al., 2019](#); [Priego et al., 2004](#); [Ramón & Bollo, 2023](#); [Shishenko, 1988](#)); el coeficiente de transformación antropogénica (KAN) ([Berezhnyy, 2014](#); [Bourema, 2021](#); [Curra-Sánchez et al., 2015](#); [Malchykova et al., 2015](#); [Ramón et al., 2011](#); [Shishenko, 1999](#); [Yukhnovskiy & Zibtseva, 2019](#)); el índice de degradación de la tierra (LDI) ([Gorbunov et al., 2022](#); [Rulev, 2007](#); [Rulev & Pugacheva, 2019](#); [Tabunschik et al., 2023](#); [Tubalov, 2023](#)); el grado de transformación antropogénica (Lantropo) ([Tabunschik et al., 2022](#); [Tabunschik et al., 2023](#); [Varenik & Kononov, 2023](#); [Zanozin, 2021](#)); el grado de hemerobia ([Belem & Nucci, 2011](#); [Borges do Couto et al., 2022](#); [Lee et al., 2019](#); [Silva & de Faria, 2021](#); [Steinhardt et al., 1999](#); [Walz & Stein, 2014](#)).

Los referidos indicadores se han usado para realizar mediciones cuantitativas de la variación espacial de cómo se van degradando los paisajes originados por los procesos de antropización. Esto, a juicio de [Mateo y Ortiz \(2001\)](#), permite evaluar las transformaciones que sufren los paisajes naturales por la disminución de sus atributos y propiedades sistémicas, lo cual impide el cumplimiento de determinadas funciones, entre las que se incluyen las socioeconómicas, los mecanismos de autorregulación y su capacidad productiva, hecho manifestado en distintos niveles de degradación geoecológica.

Los paisajes naturales o físico-geográficos se definen:

como el resultado de la interacción de los componentes naturales que se originan durante la evolución dinámica de la naturaleza en el tiempo; con límites espaciales y una estructura determinada por su funcionamiento interno y controlada por los flujos de materia, energía e información entre sus componentes, y las relaciones entre las propias unidades de paisajes que se encuentran concatenadas ([Mateo, 2011](#), como se citó en [Bollo et al., 2022, p. 52](#)).



Los paisajes antroponaturales, por otro lado, representan:

el resultado de la antropización de los paisajes naturales que les dan origen, mediante un proceso histórico de apropiación y modificación que provoca la sociedad humana y que están determinados por los diversos usos o funciones que esta le otorga, al introducir elementos antropogénicos en los mismos y transformarlos durante las actividades socio-productivas que dan respuesta a sus necesidades y aspiraciones (Bollo et al., 2022, p 53).

Las áreas naturales protegidas (ANP) han sido también escenario investigativo sobre la antropización de los paisajes, con la finalidad de establecer el estado de los recursos naturales y proponer medidas de conservación o restauración de estos. Con este objetivo, se han empleado diversos indicadores para evaluar la antropización en dichos espacios, algunos de tipo cuantitativo, como los señalados anteriormente, y, en ocasiones, otros cualitativos; así, son de interés los trabajos de Lee et al. (2019), Ramón & Bollo (2023), Walz & Stein (2014), entre otros.

En este contexto, se propone, tomándola como caso de estudio, la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, en el estado de Michoacán, México, y, como unidad de análisis, los polígonos de los paisajes antroponaturales diferenciados y cartografiados para el 2021. Se busca examinar comparativamente los resultados obtenidos tras evaluar la antropización de los paisajes para este territorio, utilizando los referidos indicadores cuantitativos, con la finalidad de valorar cuál se ajusta mejor a las estimaciones de la antropización de una ANP.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera (**Figura 1**), con una superficie de 22 400.57 ha, se localiza entre las coordenadas geográficas: 19° 39' 48.52'' y 19° 30' 31.33'' de latitud norte y los 101° 12' 24.77'' y 100° 56' 48.57'' de longitud oeste; ocupa parte de los municipios de Morelia, Charo y Madero, en el estado de Michoacán de Ocampo, México. Se ubica en la zona de transición de las montañas del eje neovolcánico transversal a la Sierra Madre del Sur, con una cobertura vegetal predominantemente forestal (85.49 %), de la que el 45.33 % se considera vegetación primaria y se extiende más que nada al norte, noroeste y suroeste. El 40.87 % de los bosques presenta un alto grado de perturbación, debido a la conversión de bosques primarios en secundarios con predominio de herbáceas; mientras que el 13.81 % del total presenta algún nivel de modificación, dado el predominio de la cobertura arbustiva. En relación con otros usos del suelo, los pastizales ocupan el 9.78 % de la superficie del ANP, seguidos por las áreas dedicadas a la agricultura de temporal, con un 2.74 %, y los cultivos permanentes, con el 1.50 % restante. Los asentamientos humanos abarcan el 0.48 % de la superficie total del área (Ramón & Bollo, 2023).



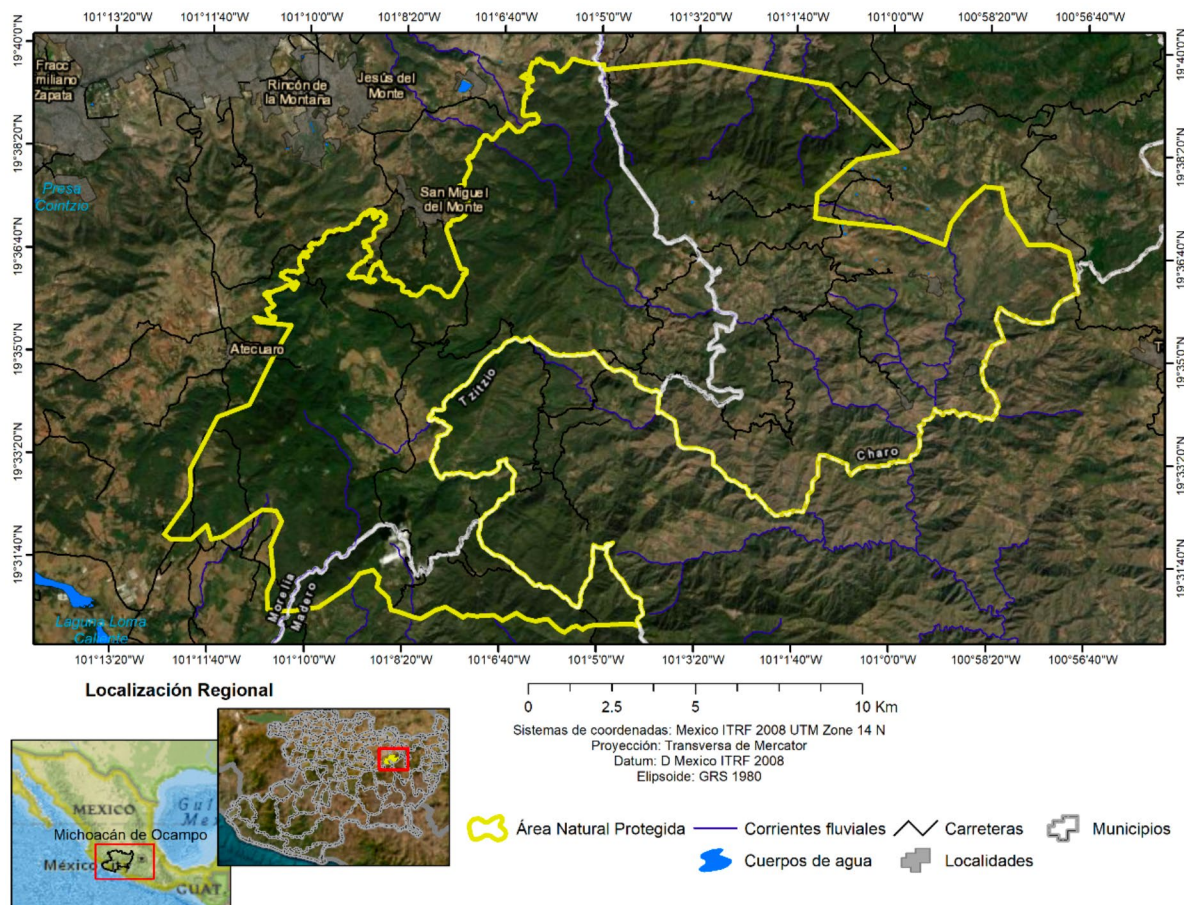


Figura 1. Localización geográfica de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera.

Figure 1. Geographic location of the Environmental Protection Zone Pico Azul-La Escalera.

2.2 Paisajes antroponaturales

Se utilizó el mapa de paisajes antroponaturales a escala 1:50000, derivado del mapa de paisajes físico-geográficos de [Ramón & Bollo \(2023\)](#), conforme a los lineamientos metodológicos de [Bollo et al. \(2022\)](#). La obtención del mapa de cobertura y uso del suelo se efectuó a partir de una imagen Landsat 8 del 4 de marzo de 2021, en el *software* QGIS 3.20, con el Semi-Automatic Classification Plugin, en 3 fases:

Fase de entrenamiento: se seleccionaron los píxeles de la imagen que representaran adecuadamente las categorías representativas de los distintos tipos de cobertura y usos del suelo, para el análisis de las firmas espectrales de las diferentes categorías seleccionadas, pretendiendo obtener las estadísticas relativas a la media, rango, desviación típica, etc. Así, se tomaron los



valores de los píxeles definidos para cada clase, buscando detectar solapamientos y cruzamientos entre las firmas.

Fase de asignación: se definió un área de dominio, en torno al centro de cada categoría por distinguir, mediante un conjunto de funciones discriminantes, donde, con base en la función de mínima distancia, el píxel se asigna a la categoría, si sus niveles digitales se encuentran dentro del área de dominio establecida para dicha clase.

Fase de comprobación y verificación de los resultados: se analizan los resultados de la imagen final y se corrigen los niveles digitales representantes de cubiertas poco coherentes con su localización espacial, a partir de los criterios de fotointerpretación de asociación y situación. Como resultado final, se obtuvo el mapa temático con las clases: bosque primario, bosque secundario con predominio de arbustos, bosque secundario con predominio de herbáceas, pastizales inducidos, agricultura de temporal, cultivos permanentes y asentamientos humanos. La evaluación de qué tan precisos son los resultados obtenidos, se ejecutó mediante una matriz de confusión, con un resultado de confiabilidad del 94.5 %

El mapa de cobertura y uso del suelo se superpuso con las comarcas del mapa de paisajes físico-geográficos, mediante la herramienta Unión, del *software* ArcGIS 10.8.2. Como resultado, se generó el mapa de los paisajes antroponaturales del ANP para el 2021, cuyas unidades fueron utilizadas para evaluar los diferentes indicadores de antropización.

2.3 Indicadores para evaluar la antropización de los paisajes

Para el cálculo de la antropización de los paisajes de forma cuantitativa, se usaron los siguientes indicadores:

Grado de naturalidad (Gn). Establece el porcentaje de superficie de la unidad de paisaje que presenta algún tipo de cobertura boscosa primaria (Bollo & Velazco, 2018).

$$Gn = \left(\frac{Sveg_{nat}}{A} \right) * 100$$

Donde: *Sveg_nat* = superficie de vegetación primaria, *A* = área de la unidad de paisaje.

El cálculo del Gn se hace a partir de cada uso de suelo o cobertura vegetal contenidos en cada polígono del paisaje antroponatural. Los valores cercanos a 100 indican paisajes con alta naturalidad y los cercanos a cero corresponden a una baja naturalidad.

Índice de antropización de la cubierta vegetal (IACV). Establece el grado de alteración de la cobertura vegetal por unidad de paisaje en el momento de la evaluación, para los distintos tipos de cobertura vegetal y usos del suelo (Shishenko, 1988).

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



Donde: r_i = valor de ponderación del tipo “ i ” de cobertura vegetal o uso del suelo (**Cuadro 1**), A_{ij} = área (km²) dedicada al tipo de utilización i en la unidad de paisaje j , A_j = área total (km²) del paisaje j .

El cálculo del IACV se realiza a partir de cada uso de suelo o cobertura vegetal de cada unidad de paisaje. Se asigna un valor ponderado entre 0.01 y 0.99 a cada tipo de cobertura o uso del suelo, según su grado de transformación. El valor más bajo de ponderación corresponde a las coberturas menos degradadas y el más alto, a usos que originan mayor intensidad de degradación de la cobertura vegetal o su eliminación. El valor del índice se expresa de 0 a 1 (valores cercanos a 0 indican paisajes muy poco modificados y aquellos próximos a 1, paisajes muy antropizados) (**Cuadro 1**).

Grado de transformación antropogénica (KAN): determina la carga antrópica a la cual está sometido cada polígono de paisaje, por los distintos tipos de usos del suelo y el estado de la cobertura vegetal ([Shishenko, 1999](#)).

$$KAN = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i * p_i * q)}{100}$$

Donde: r_i = rango de transformación antrópica de los paisajes del tipo i (**Cuadro 2**), p_i = porcentaje de superficie de cada tipo de cobertura dentro de la unidad (%), q = índice de profundidad de la transformación del paisaje (**Cuadro 3**).

Cuadro 1. Ponderación de los tipos de cobertura y usos del suelo para el cálculo del IACV.

Table 1. Weighting of land cover types and land use for IACV calculation.

Tipo de cobertura o uso del suelo	r_i
Bosques primarios	0.10
Bosques secundarios con predominio de arbustos	0.20
Bosques secundarios con predominio de herbáceas	0.30
Pastizal inducido	0.50
Cultivos perennes	0.75
Agricultura de temporal	0.80
Asentamientos rurales	0.98

Fuente: [Ramón & Bollo \(2023\)](#).

Cuadro 2. Ponderación de los tipos de cobertura y usos del suelo para el cálculo del KAN.

Table 2. Weighting of land cover types and land use for KAN calculation.

Tipos de cobertura o uso del suelo	r_i	q
Bosques primarios	1	1.0
Bosques secundarios con predominio de arbustos	2	1.05
Bosques secundarios con predominio de herbáceas	3	1.1
Pastizal inducido	4	1.15
Cultivos perennes	5	1.2
Agricultura de temporal	6	1.25
Asentamientos rurales	7	1.3

Fuente: Elaborada a partir de [Shishenko \(1999\)](#).



Cuadro 3. Índice de profundidad de transformación del paisaje para el cálculo del KAN.

Table 3. Index of landscape transformation depth for KAN calculation.

Tipos de cobertura o uso del suelo	q
Bosques primarios	1.0
Bosques secundarios con predominio de arbustos	1.05
Bosques secundarios con predominio de herbáceas	1.1
Pastizal inducido	1.15
Cultivos perennes	1.2
Agricultura de temporal	1.25
Asentamientos rurales	1.3

Fuente: Elaborada a partir de Shishenko (1999).

El cálculo del KAN se logró a partir de cada uso de suelo o cobertura vegetal existente en cada polígono; se le asignó un valor ponderado que va desde 1 hasta 9 a cada tipo de cobertura o uso, según su grado de transformación. El índice de profundidad de transformación del paisaje se determina usando un sistema de expertos y caracteriza el peso de cada uno de los tipos de utilización de la naturaleza en la transformación sumaria de la unidad de paisajes

dada. Se propone con base en la analogía establecida en la propuesta de Shishenko (1999). El índice se expresa de 0 a 10; un valor cercano a 0 indica paisajes muy poco modificados y uno próximo a 10, paisajes con altos niveles de modificación.

Índice de degradación de la tierra (LDI): determina el nivel de degradación de la cobertura vegetal por unidad de paisaje en el momento de la evaluación, partiendo de considerar la contribución real de los diferentes usos, en relación con el área total de la unidad de paisaje (Rulev, 2007).

$$LDI = \frac{\sum_{i=1}^m N_i S_i}{S_{scan}}$$

Donde: S = área del tipo de uso del suelo en el paisaje (km²), N = índice de perturbación del paisaje (**Cuadro 4**), S_{scan} = área del paisaje (km²), i = número de serie del tipo de perturbación del paisaje, m = número de tipos de perturbación.

El cálculo del LDI se efectúa a partir de cada uso de suelo o cobertura vegetal presente en cada polígono, asignando un valor ponderado que va desde 1 hasta 9 a cada tipo de cobertura o uso, según su índice de perturbación. El valor del índice se expresa de 1 a 10, donde un valor cercano a 1 indica paisajes muy poco modificados y uno próximo a 10, paisajes con altos niveles de modificación.

Cuadro 4. Ponderación de los tipos de cobertura y usos del suelo para el cálculo del LDI.

Table 4. Weighting of land cover types and land use for LDI calculation.

Tipos de cobertura o uso del suelo	N
Bosques primarios	1
Bosques secundarios con predominio de arbustos	2
Bosques secundarios con predominio de herbáceas	3
Pastizal inducido	4
Cultivos perennes	5
Agricultura de temporal	6
Asentamientos rurales	7

Fuente: Elaborada a partir de Rulev (2007).



Grado de hemerobia (M): evalúa de manera integrada las intervenciones humanas sobre los paisajes, a partir del uso del suelo y el estado de la cobertura vegetal (Steinhardt et al., 1999).

$$M = \sum_{h=1}^n \left(\frac{fn}{n} \right) * h$$

Donde: h = factor de hemerobia (lineal de $h = 1$ para la mínima categoría, hasta $h = n$ para la máxima categoría), n = número de categorías de hemerobia, fn = proporción del área de la categoría n (%).

El cálculo del índice M se lleva a cabo a partir de los porcentajes dentro de cada polígono del mapa de paisajes antroponaturales que ocupa cada uso o cobertura del suelo, mediante la asignación de los impactos correspondientes a los factores de hemerobia y su designación cualitativa (**Cuadro 5**), donde ahemerobia es un paisaje sin intervención humana y metahemerobia es un paisaje completamente antrópico.

Cuadro 5. Clasificación del impacto humano sobre los componentes del paisaje y su grado correspondiente de hemerobia.

Table 5. Classification of human impact on landscape components and their corresponding degree of hemeroby.

Valor de hemerobia	Grado de hemerobia	Tipos de cobertura o uso del suelo
1	ahemerobia	Bosques primarios
2	oligohemerobia	Bosques secundarios con predominio de arbustos
3	mesohemerobia	Bosques secundarios con predominio de herbáceas
4	β-euhemerobia	Pastizal inducido
5	α-euhemerobia	Cultivos perennes
6	polihemerobia	Agricultura de temporal
7	metahemerobia	Asentamientos rurales

Fuente: Elaborada a partir de Steinhardt et al. (1999).

Para el cálculo de este índice, en cada polígono se divide la proporción que ocupa cada categoría de hemerobia entre el número de categorías de hemerobia y el resultado se multiplica por el factor de hemerobia. El valor del índice se expresa de 0 a 100, donde un valor cercano a 0 indica paisajes naturales muy conservados y uno próximo a 100, paisajes muy degradados.

2.4 Línea base para evaluar los resultados de los indicadores

Los resultados de los 5 indicadores se clasifican en 5 rangos (muy baja, baja, media, alta y muy alta), en el *software* ArcGIS 10.8.2, por el método de ruptura natural de Jenks (1967). Se utilizó este procedimiento porque el resultado de la división de los datos en clases se basa en agrupamientos naturales inherentes a esos datos y las rupturas de clase se crean de forma tal que los valores similares se amontonan mejor y se maximizan las diferencias entre las distintas clases. Este mecanismo es de los más usados para establecer rangos de clasificación en análisis de ese tipo (Bollo & Velazco, 2018; Cruz-Paz et al., 2018; Morales et al., 2019; Ramón & Bollo, 2023, entre otros).



La comparación de los resultados obtenidos del cálculo de las categorías de antropización para los indicadores utilizados se realiza a partir de una línea base, que muestra cuál sería la proporción óptima de cada categoría, teniendo en cuenta los porcentajes de cobertura primaria o secundaria de vegetación, los usos del territorio (agrícola o pecuario) y la presencia de asentamientos humanos (**Cuadro 6**). Esta línea base se establece con base en la evaluación hecha en el campo, sobre el estado de la cobertura vegetal y los usos del suelo en cada polígono de paisaje, según los criterios y propuestas de [Belem & Nucci \(2011\)](#), [Borges do Couto et al. \(2022\)](#), [Gusmão et al. \(2021\)](#) y [Ramón & Bollo \(2023\)](#). Las categorías se establecieron desde la disminución del porcentaje de cobertura boscosa primaria, el incremento de la vegetación secundaria arbustiva y herbácea, así como desde la aparición y el desarrollo de la actividad agropecuaria.

Cuadro 6. Categorías base para evaluar la antropización de la cobertura vegetal en los paisajes.

Table 6. Basic categories for evaluating the anthropization of vegetation cover in landscapes.

Categoría	Cantidad de polígonos	Descripción
Muy baja	26	Paisajes con bosques primarios en más del 70 % del territorio, bosques secundarios con predominio de arbustos en menos del 25 %, bosques secundarios con predominio de herbáceas en menos del 10 %, se aprovecha en actividades agropecuarias menos del 5 %, no se encuentran asentamientos humanos.
Baja	17	Paisajes con bosques primarios entre 50-70 % del territorio, bosques secundarios con predominio de arbustos en menos del 75 %, bosques secundarios con predominio de herbáceas en menos del 30 %, se aprovecha en actividades agropecuarias menos del 10 %, se pueden encontrar asentamientos humanos muy pequeños con viviendas dispersas.
Media	32	Paisajes con bosques primarios en menos del 50 % del territorio, bosques secundarios con predominio de arbustos hasta en el 100 %, bosques secundarios con predominio de herbáceas en menos del 50 %, se aprovecha en actividades agropecuarias menos del 15 %, se pueden encontrar pequeños asentamientos humanos.
Alta	48	Paisajes con bosques primarios en menos del 20 % del territorio, bosques secundarios con predominio de arbustos en menos del 60 %, bosques secundarios con predominio de herbáceas hasta el 100 %, se aprovecha en actividades agropecuarias menos del 50 %, se pueden encontrar asentamientos humanos pequeños y algunos con mayor cantidad de viviendas.
Muy alta	13	Paisajes con bosques primarios en menos del 10 % del territorio, bosques secundarios con predominio de arbustos en menos del 10 %, bosques secundarios con predominio de herbáceas en menos del 45 %, se aprovecha en actividades agropecuarias más del 70 %, se pueden encontrar asentamientos humanos con mayor cantidad de viviendas concentradas.

Fuente: Elaborada a partir de [Ramón & Bollo \(2023\)](#).



3. Resultados y discusión

3.1 Mapa de paisajes antroponaturales

A partir de la clasificación de la imagen de satélite, se identificaron 5 clases de uso y 3 sub-clases de cobertura en términos del estado de la vegetación (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Tipos de cobertura y uso del suelo para el 2021.

Table 7. Land cover types and land use for 2021.

Categorías	Área (ha)
Forestal	19 151.10
• Bosques primarios	8 680.85
• Bosques secundarios con predominio de arbustos	2 644.09
• Bosques secundarios con predominio de herbáceas	7 826.16
Pastizales inducidos	2 191.85
Agricultura de temporal	613.43
Cultivos perennes	335.80
Asentamientos humanos	108.39
Total	41 551.67

El mapa de cobertura y uso del suelo resultante se cruzó con las comarcas del mapa de paisajes físico-geo-gráficos para identificar los paisajes antropogénicos del ANP, estos quedaron conformados por 24 unidades y 136 polígonos (en adelante, las unidades básicas de análisis) (**Figura 2**). El empleo de los polígonos que conforman las distintas unidades de paisajes

como unidad básica permite realizar un análisis más detallado de los procesos de antropización actuales y su intensidad, así como de las características resultantes en la diferenciación originada por el proceso de antropización de cada paisaje natural, a partir de las coberturas existentes en cada uno de ellos.

3.1.1 Leyenda resumida del mapa de paisajes antroponaturales del territorio

A. Eje Neovolcánico Transmexicano, subprovincia Mil Cumbres

I. Montañas vulcano-tectónicas, denudativo-erosivas, en forma de cono, con estructuras de colapso en forma de herradura (calderas), en clima templado subhúmedo, de ligeramente a fuertemente diseccionadas. **1.** Cono volcánico y domos, con pendientes de 0-30°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos andosol húmico y luvisol crómico, coberturas de bosques primarios de pino encino, de pino y bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **2.** Piedemonte con pendientes de 0-20°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelo andosol húmico, coberturas de agricultura de temporal, cultivos permanentes y bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **3.** Piedemonte con pendientes de 0-45°, de rocas ígneas extrusivas ácidas, con suelos andosol húmico y acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino encino, bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques primarios de pino y bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos. **4.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de basaltos, con suelo andosol húmico,



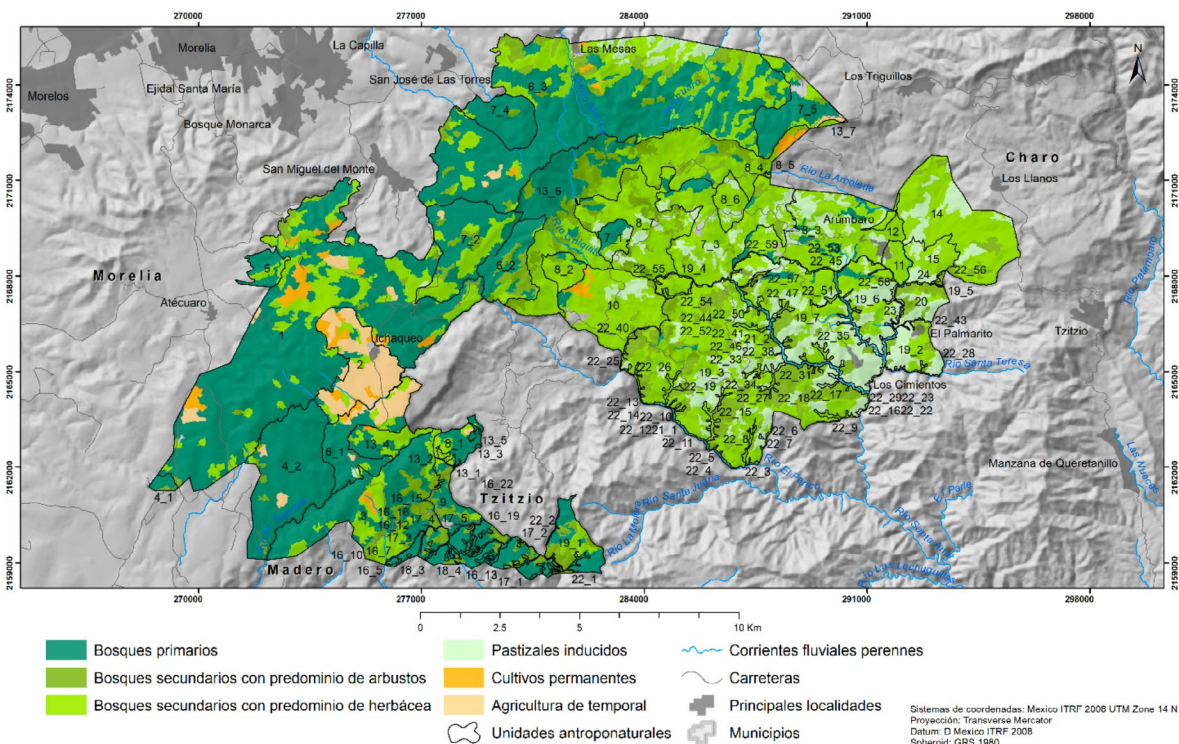


Figura 2. Unidades de paisajes antroponaturales para el 2021.

Figure 2. Anthroponatural landscape units for 2021.

coberturas de bosques primarios de pino encino y de pino. 5. Depresión vulcano-erosiva, con pendientes de 10-30°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico, andosol húmico y acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino encino, bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques primarios mesófilos de montaña y bosques secundarios de encino con predominio de herbáceas.

II. Montañas vulcano-tectónicas, denudativo-erosivas, con estructuras de colapso en forma de herradura (calderas), en clima templado subhúmedo, de ligera a fuertemente diseccionadas. 6. Cono volcánico, con pendientes de 0-45°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos acrisol órtico, andosol húmico y ranker, coberturas de bosques primarios de pino encino, bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques primarios de pino, bosques de pino encino con predominio de arbustos. 7. Domos volcánicos, con pendientes de 0-45°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos andosol húmico, acrisol órtico y luvisol crómico, coberturas de bosques primarios de pino encino, bosques secundarios con predominio de herbáceas de pino encino, pastizales inducidos, bosques primarios de pino. 8. Piedemonte con pendientes de 0-45°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico y acrisol órtico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio



de herbáceas, pastizales inducidos y bosques primarios de pino encino. **9.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de rocas ígneas extrusivas ácidas, con suelo acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino encino, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos, bosques primarios de pino y bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **10.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de conglomerados, con suelos luvisol crómico y acrisol órtico, y coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, pastizales inducidos, bosques secundarios de encino con predominio de herbáceas y cultivos permanentes. **11.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de limolita-arenisca, con suelo luvisol crómico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas y pastizales inducidos. **12.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de tobas riolíticas, con suelo luvisol crómico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **13.** Depresión vulcano-erosiva, con pendientes de 0-45°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos acrisol órtico, andosol húmico y luvisol crómico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques primarios de pino encino, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos y bosques secundarios de pino con predominio de herbáceas.

III. Montañas vulcano-tectónicas poligenéticas, denudativo-erosivas, en clima templado subhúmedo, de ligera a fuertemente diseccionadas. **14.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico y regosol dístico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, pastizales inducidos y bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos. **15.** Piedemonte con pendientes de 0-30°, de limolita-arenisca, con suelo luvisol crómico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas y pastizales inducidos.

IV. Montañas vulcano-tectónicas denudativas en clima templado subhúmedo, moderadamente diseccionadas. **16.** Cimas con pendientes de 0-30°, de rocas ígneas extrusivas ácidas, con suelo acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino encino y bosques de pino encino con predominio de arbustos. **17.** Laderas, con pendientes de 0-30°, constituidos por rocas ígneas extrusivas ácidas, con suelo acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino, bosques secundarios de pino con predominio de arbustos y bosques secundarios de pino con predominio de herbáceas. **18.** Valles fluvio-denudativos, erosivos, encajados, en forma de V, con laderas de 5-30° y cauces con corrientes fluviales intermitentes, de rocas ígneas extrusivas ácidas, con suelo acrisol órtico, coberturas de bosques primarios de pino y bosques secundarios de pino con predominio de arbustos.

B. Sierra Madre del Sur, subprovincia Depresión del Balsas

V. Montañas vulcano erosivo-denudativas, en clima templado subhúmedo, de moderada a fuertemente diseccionadas. **19.** Montañas vulcano-denudativas, con pendientes de 0-30°, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico, feozem háptico y regosol éutrico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, pastizales inducidos, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos y selva baja



caducifolia secundaria con predominio de arbustos. **20.** Montañas vulcano-denudativas, con pendientes de 30-45°, de conglomerados, con suelo luvisol crómico, coberturas de pastizales inducidos, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos y bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **21.** Valles fluvio-denudativos-erosivos, encajados, en forma de V, con laderas de 5-45°, cauces con corrientes fluviales permanentes, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico, feozem háplico y regosol éutrico, coberturas de pastizales inducidos, bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques secundarios de pino encino y selva baja caducifolia secundaria con predominio de arbustos. **22.** Valles fluvio-denudativos, erosivos encajados, en forma de V, con laderas de 5-45°, cauces con corrientes fluviales intermitentes, de andesita-brecha volcánica andesítica, con suelos luvisol crómico, feozem háplico y regosol éutrico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos, selva baja caducifolia secundaria con predominio de arbustos y pastizales inducidos. **23.** Valles fluvio-denudativos, erosivos encajados, en forma de V, con laderas de 5-45°, cauces con corrientes fluviales permanentes, de conglomerados, con suelo luvisol crómico, coberturas de selva baja caducifolia secundaria con predominio de herbáceas, bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos, pastizales inducidos, bosques secundarios de pino encino con predominio de herbáceas. **24.** Valles fluvio-denudativos, erosivos encajados, en forma de V, con laderas de 5-45°, cauces con corrientes fluviales intermitentes, de conglomerados, con suelo luvisol crómico, coberturas de bosques secundarios de pino encino con predominio de arbustos.

3.2 Evaluación de la antropización

3.2.1 Grado de naturalidad

El método de ruptura natural aplicado a los resultados del procesamiento del Gn en 5 categorías originó la distribución presentada en la **Figura 3** y el **Cuadro 8**.

El **Figura 3** y **Cuadro 8** la muestran que los paisajes con mayor grado de naturalidad representan la menor superficie y comprenden 19 polígonos, el 5.27 % del ANP están localizados al norte, oeste y suroeste. Con alto grado de naturalidad encontramos 14 polígonos, que ocupan el 17.85 % del total, distribuidos al noroeste y suroeste. La categoría media agrupa a 27 polígonos, el 29.69 % de la superficie del territorio, ubicados al norte, suroeste y una unidad al centro. El grado de naturalidad bajo incluye 5 polígonos,

Cuadro 8. Distribución por categorías del grado de naturalidad.

Table 8. Distribution by categories of naturalness degree.

Rango	Categoría	Cantidad de polígonos	Área (ha)
< 11.58	Muy baja	84	8 953.82
11.57 - 38.86	Baja	5	1 618.16
38.85 - 60.44	Media	14	6 650.01
60.43 - 86.92	Alta	14	3 998.67
> 86.93	Muy alta	19	1 179.91
Total		136	22 400.57



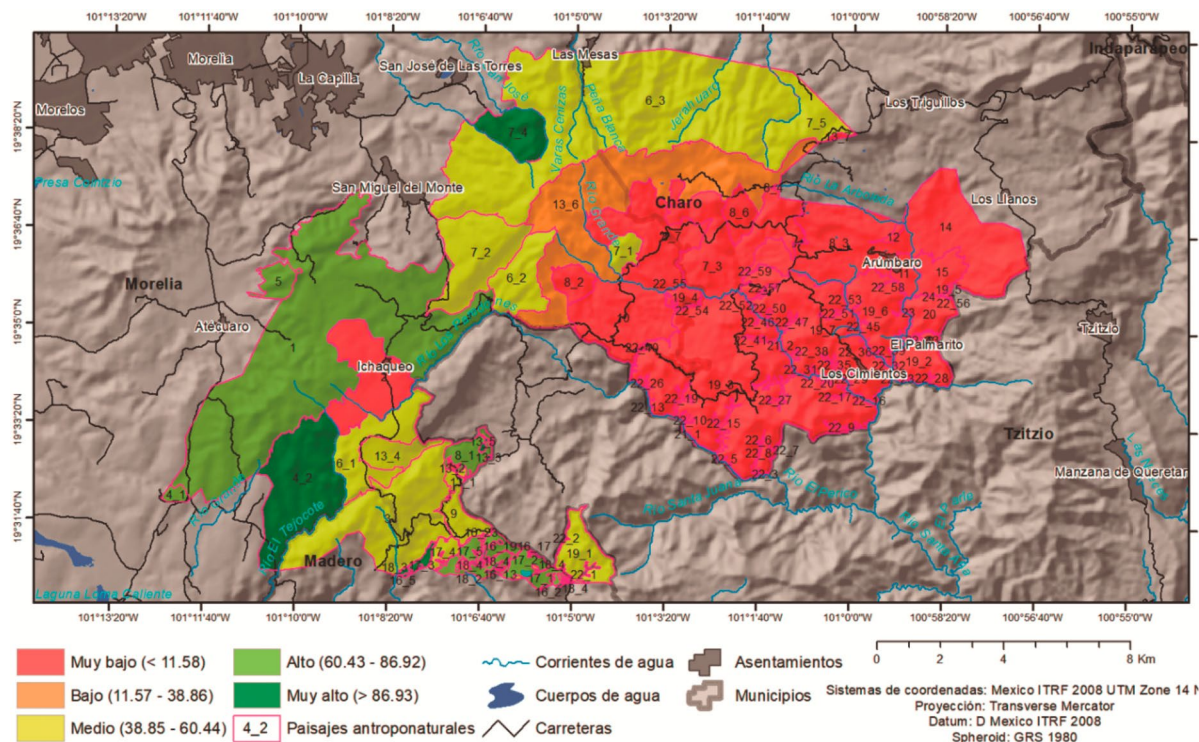


Figura 3. Mapa del grado de naturalidad.

Figure 3. Map of naturalness degree.

para el 7.22 %, distribuidos fundamentalmente en la parte centro norte. Los valores más bajos de naturalidad, que incluyen los paisajes con valor 0 de esta, son los más extendidos, con 84 polígonos, para un 39.97 % del ANP y se extienden al centro, sur, este y un polígono al centro este.

3.2.2 Índice de antropización de la cobertura vegetal

El método de ruptura natural aplicado a los resultados del procesamiento del IACV en 5 categorías presenta la distribución mostrada en la **Figura 4** y el **Cuadro 9**.

La **Figura 4** y el **Cuadro 9** muestran que los paisajes muy poco antropizados abarcan 34 polígonos, los cuales representan el 9.24 % del territorio, extendidos al centro, norte, noroeste, oeste y suroeste de

Cuadro 9. Distribución por categorías del índice de antropización de la cobertura vegetal.

Table 9. Distribution by categories of vegetation cover anthropization index.

Rango	Categoría	Cantidad de polígonos	Área (ha)
< 0.16	Muy baja	34	2 068.95
0.17 - 0.24	Baja	40	11 026.04
0.25 - 0.32	Media	27	3 287.96
0.33 - 0.44	Alta	25	5 467.55
> 0.45	Muy alta	10	550.07
Total		136	22 400.57



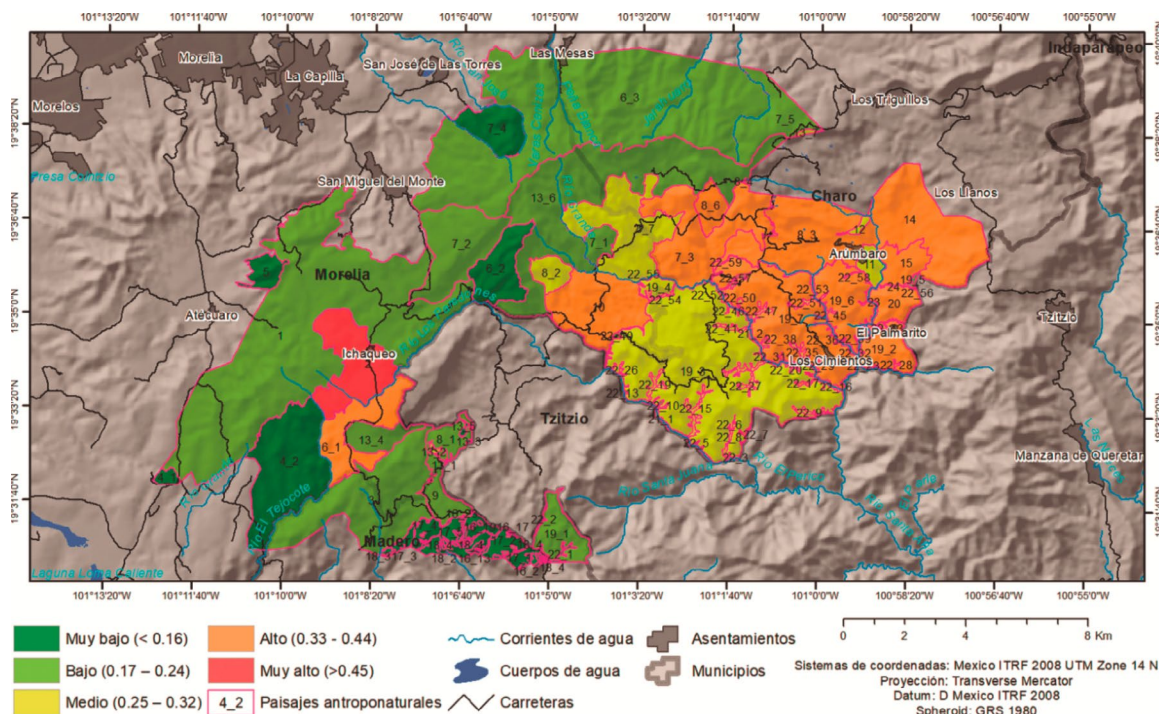


Figura 4. Mapa del índice de antropización de la cobertura vegetal.

Figure 4. Map of vegetation cover anthropization index.

nuestra área de estudio. En la categoría baja de antropización, se encuentra alrededor de la mitad de la superficie del territorio, 40 polígonos que ocupan el 49.22 % del total, distribuidos al norte, noroeste y suroeste. Los paisajes en la categoría media agrupan a 27 polígonos, para un 14.68 % de la superficie del ANP y se sitúan en la porción centro sur de nuestra área. Las categorías alta y muy alta del índice de antropización, es decir, los paisajes más modificados, comprenden 25 y 10 polígonos, lo que significa el 24.6 % y 2.46 % de la superficie del ANP, respectivamente; los paisajes en la categoría alta se distribuyen en la parte central, este y sureste; los que se encuentran en la categoría muy alta, en el centro y sur.

3.2.3 Coeficiente de transformación antropogénica

El método de ruptura natural aplicado a los resultados del procesamiento de las 5 categorías del KAN mostró la distribución presentada en la **Figura 5** y el **Cuadro 10**.



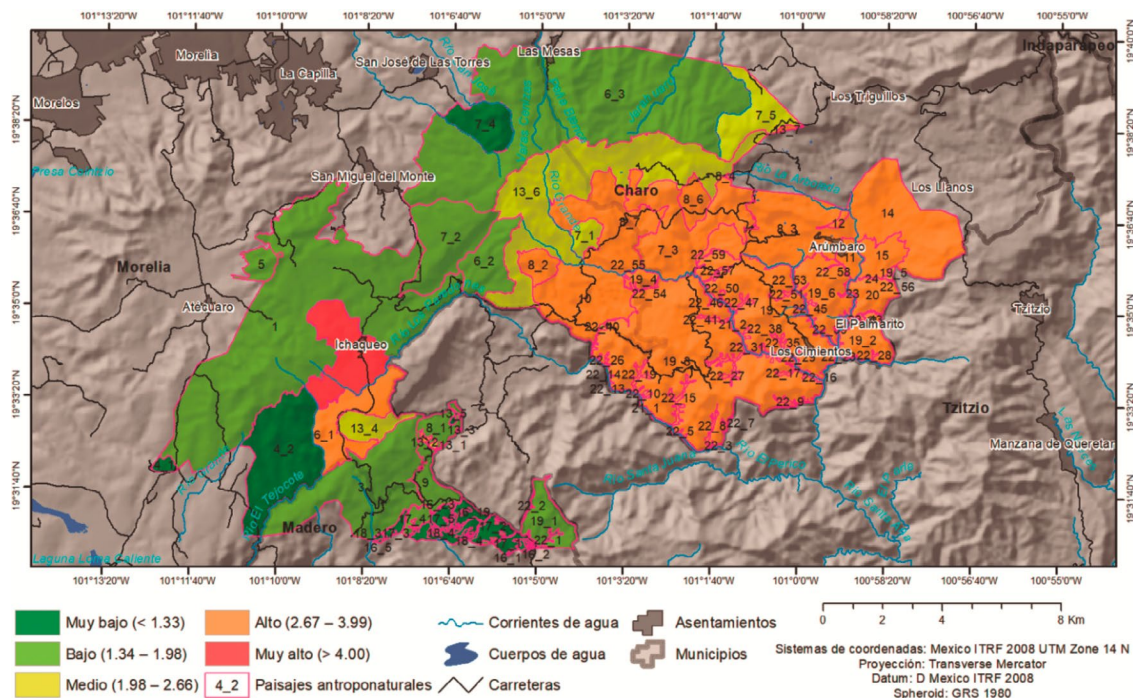


Figura 5. Mapa del coeficiente de transformación antropogénica.

Figure 5. Map of anthropogenic transformation coefficient.

La **Figura 5** y el **Cuadro 10** muestran que los paisajes con menor coeficiente de modificación abarcan 30 polígonos, que representan el 7.05 % del ANP; se ubican al norte, oeste y suroeste. La categoría baja agrupa a 18 polígonos que ocupan el 41.20 %

del área total, se distribuyen al norte, noroeste, sur y suroeste. Los paisajes en la categoría media incluyen 27 polígonos, para un 10.34 % del territorio, se ubican entre los paisajes que se encuentran en la categoría baja y alta, en la parte centro sur. Las categorías altas y muy altas representan los paisajes más modificados; abarcan 50 y 11 polígonos, lo que implica el 38.95 % y 2.46 %, respectivamente; se extienden al centro, este y sureste los paisajes de la categoría alta, y al centro y sur los de la categoría muy alta.

Cuadro 10. Distribución de las categorías del coeficiente de transformación antropogénica.

Table 10. Distribution by categories of anthropogenic transformation coefficient.

Rango	Categoría	Cantidad de polígonos	Área (ha)
< 1.33	Muy baja	30	1 579.78
1.34 - 1.98	Baja	18	9 299.49
1.99 - 2.66	Media	27	2 315.75
2.67 - 3.99	Alta	50	8 724.14
> 4.00	Muy alta	11	551.41
Total		136	22 400.57



3.2.4 Índice de degradación de la tierra

El método de ruptura natural aplicado a los resultados del procesamiento del LDI en 5 categorías mostró la distribución que puede apreciarse en la **Figura 6** y el **Cuadro 11**.

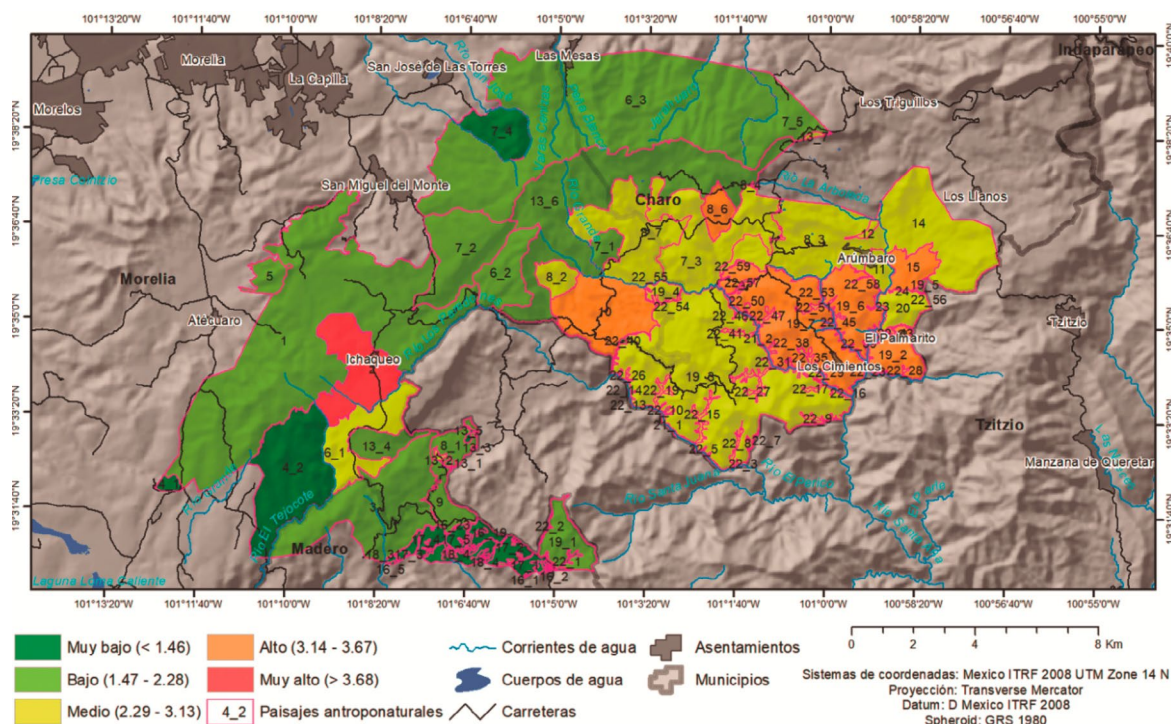


Figura 6. Mapa del índice de degradación de la tierra.

Figure 6. Map of the land degradation index.

La **Figura 6** y el **Cuadro 11** muestran que la categoría con menor índice de degradación agrupa 31 polígonos que representan el 7.30 % del territorio, localizados al norte, oeste y suroeste. En la categoría baja, la más extendida, se agrupan 43 polígonos que ocupan el 51.16 % del área total, se extienden por el norte, noroeste, sur y suroeste. En la categoría media, se incluyen 37 polígonos, para un 27.78 % del ANP, distribuidos al centro, oeste y el sureste. Con un alto índice, se encuentran 16 polígonos, el 11.31 % del territorio, situados al centro y sureste. La categoría muy alta es la menos representada, con 9 polígonos que conforman el 2.45 %, se ubican en la parte oeste y algunos al sur.

Cuadro 11. Distribución de las categorías del índice de degradación de la tierra.

Table 11. Distribution by categories of the land degradation index.

Rango	Categoría	Cantidad de polígonos	Área (ha)
< 1.46	Muy baja	31	1 635.06
1.47 - 2.28	Baja	43	11 459.93
2.29 - 3.13	Media	37	6 221.96
3.14 - 3.67	Alta	16	2 534.11
> 3.68	Muy alta	9	549.51
Total		136	22 400.57



3.2.5 Grado de hemerobia

El método de ruptura natural aplicado a los resultados del procesamiento del M en 5 categorías resultó en la distribución presentada en la **Figura 7** y la **Cuadro 12**.

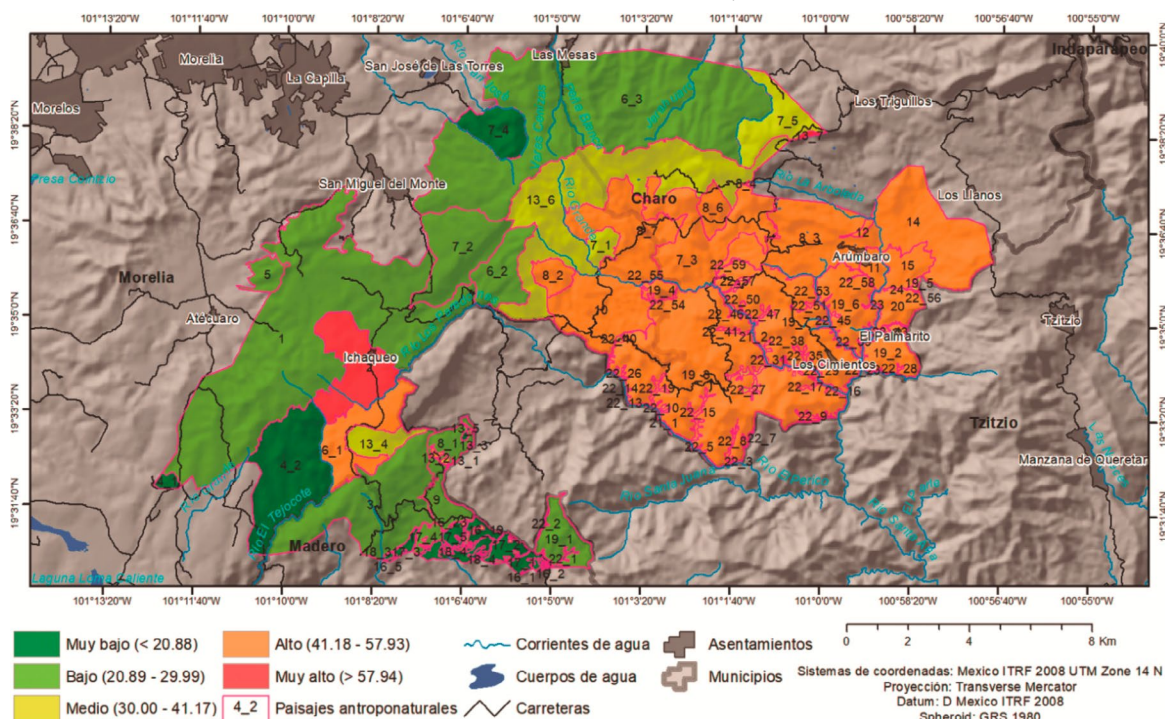


Figura 7. Mapa del grado de hemerobia.

Figure 7. Map of hemeroby degree.

Cuadro 12. Distribución de las categorías del grado de hemerobia.

Table 12. Distribution by categories of hemeroby degree.

Rango	Categoría	Cantidad de polígonos	Área (ha)
< 20.88	Muy baja	26	1 568.82
20.89 - 29.99	Baja	17	9 233.65
30.00 - 41.17	Media	33	2 349.41
41.18 - 57.93	Alta	46	8 683.73
> 57.94	Muy alta	14	564.96
Total		136	22 400.57

La **Figura 7** y el **Cuadro 12** muestran que los paisajes menos modificados, según este índice, incluyen 26 polígonos que abarcan el 7.00 % de la superficie del ANP, distribuidos al norte, oeste y suroeste. En la categoría baja

de antropización, se agrupan 17 polígonos que ocupan el 41.22 % del territorio y están localizados al norte, noroeste, sur y suroeste. La categoría media incluye 33 polígonos, para el 10.49 % de la superficie total y se dispersan formando una zona de transición entre los paisajes que se encuentran en la categoría baja y alta, en la parte centro sur. Las categorías altas y muy altas, que integran los paisajes más antropizados, abarcan 46 y 14 polígonos, lo que representa el 38.77 %



y el 2.52 % de la superficie total del área de estudio, respectivamente; los paisajes en la categoría alta se localizan en la parte central, este y sureste, y al centro y sur se hallan los situados en la categoría muy alta.

3.3 Comparación de los resultados obtenidos con la información de campo

Se compararon los resultados obtenidos por cada indicador para el territorio en estudio, con las categorías propuestas en el índice guía del **Cuadro 5**, lo cual permite establecer la exactitud de los resultados de cada índice evaluado con las categorías bases, con base en la medición de la coincidencia o no de cada polígono en cada categoría, con la categoría base (**Cuadro 13**).

Cuadro 13. Comparación de los resultados obtenidos por la aplicación de los indicadores y la información de campo.

Table 13. Comparison of results obtained by the application of indicators and field information.

Indicador	Categorías	Cantidad de polígonos similares	Cantidad de polígonos diferentes
Gn	Muy baja	16	10
	Baja	6	11
	Media	4	28
	Alta	0	48
	Muy alta	13	0
	Total	39	97
IACV	Muy baja	26	0
	Baja	11	6
	Media	1	31
	Alta	23	25
	Muy alta	10	3
	Total	71	65
KAN	Muy baja	26	0
	Baja	15	2
	Media	27	5
	Alta	48	0
	Muy alta	11	2
	Total	127	9
LDI	Muy baja	26	0
	Baja	14	3
	Media	1	31
	Alta	13	35
	Muy alta	9	4
	Total	63	73
M	Muy baja	26	2
	Baja	17	0
	Media	32	0
	Alta	46	2
	Muy alta	13	0
	Total	134	2



Los resultados del Gn tienen un comportamiento inverso, los rangos muy altos van a agrupar a los paisajes con mayor naturalidad y, por ende, menor degradación y la muy baja naturalidad, a los paisajes más degradados. La comparación de los resultados con lo obtenido del trabajo de campo muestra que 6 polígonos exhiben una similitud del 28.68 %, 39 coincidieron con los resultados en las diferentes categorías y 97 reflejaron ser diferentes. En el nivel de cada categoría, el comportamiento expone una similitud del 61.54 % con la clasificación muy baja (16 polígonos), 35.29 % con baja (6 polígonos), 12.50 % con media (4 polígonos), 0 % con alta y 100 % con muy alta (13 polígonos).

Las principales diferencias estuvieron en que el Gn agrupa como muy poco degradado, solo a los polígonos que tienen más del 90 % de bosques primarios. En la categoría de alta naturalidad, se incluyen 2 polígonos que por los patrones de distribución de la cobertura y uso del suelo deberían estar en la clasificación de muy baja degradación y 9 que este indicador cataloga como media. Similar comportamiento ocurre en la categoría media, en la cual se incorporan 24 polígonos que, de acuerdo con la clasificación propuesta, se corresponden con la categoría media, pero aparecen como de muy baja naturalidad. Lo anterior se repite con la baja naturalidad, en la que el 97.92 % de los polígonos son clasificados como de muy baja naturalidad. El mejor resultado, a nuestro criterio, se encuentra en la categoría de los paisajes más degradados, con una similitud del 100 %.

El análisis comparativo de los resultados del IACV muestra una similitud del 52.21 %, 71 polígonos coincidieron con lo derivado de las diferentes categorías y 65 fueron inconsistentes. El análisis en el nivel de cada categoría evidencia una similitud del 100 % en muy baja (26 polígonos), 64.71 % en baja (11 polígonos), 3.13 % en media (1 polígono), 47.92 % en alta (23 polígonos) y 76.92 % en muy alta (10 polígonos).

Las principales dificultades con el indicador anterior estuvieron en que clasificó, en el rango muy bajo, polígonos que tienen una cobertura boscosa primaria inferior al 60 % y un porcentaje superior de cobertura de bosques secundarios al admitido en el **Cuadro 5**. En la categoría media, los desaciertos en la clasificación se vinculan a que coloca en la sección de baja a polígonos que tienen un 100 % de cobertura boscosa con predominio de arbustos o similar proporción de cobertura boscosa secundaria con predominio de arbustos y herbáceas, y a que, de acuerdo con la distribución de porcentajes de cobertura del **Cuadro 5**, deberían estar en la categoría media.

En la categoría alta, las diferencias radican en que clasifica en ella a polígonos que por sus condiciones se deben encontrar en la media, por la preeminencia de bosques secundarios con predominio de herbáceas o proporciones similares de cobertura de bosques secundarios con predominio de arbustos, herbáceas y pastizales inducidos. En la categoría muy alta, las diferencias están en 3 polígonos con cobertura predominante de pastizales inducidos que quedaron clasificados en el rango alto.

Los resultados del KAN revelan una similitud del 93.38 %, 127 polígonos coincidieron con lo observado en las mismas categorías y 9 fueron inconsistentes. El análisis en el nivel de cada categoría evidencia una similitud del 100 % en muy baja (26 polígonos), 84.24 % en baja (15



polígonos), 84.36 % en media (32 polígonos), 100 % en alta (48 polígonos) y 84.62 % en muy alta (11 polígonos).

La categoría baja registró una similitud del 64.71 %, los 2 polígonos en los que aparece esta diferencia el KAN los categorizó como muy bajos; pero los porcentajes de cobertura boscosa primaria inferiores al 59 % y 30 %, respectivamente, los descalifica para estar en muy alta (**Cuadro 6**). En la categoría media, la principal diferencia estuvo en 3 polígonos que, a pesar de tener un 100 % de cobertura arbustiva, el sistema de rompimiento natural los agrupó en baja y 2 en las mismas condiciones los reunió en muy baja. En la categoría muy alta, la diferencia fue con 1 polígono que, aunque tenía una cobertura del 100 % de pastizales inducidos, se incluyó en alta.

Los resultados del LDI revelaron una similitud del 46.32 %, 63 polígonos aparecen con en las mismas categorías y 73 fueron inconsistentes. El análisis en el nivel de cada categoría evidencia una similitud del 100 % en muy baja (26 polígonos), 82.35 % en baja (14 polígonos), 3.13 % en media (1 polígono), 27.08 % en alta (13 polígonos) y 69.23 % en muy alta (9 polígonos).

La categoría baja difiere en 3 polígonos que, a pesar de tener una cobertura de bosques primarios inferior al 60 %, el LDI los clasificó como muy poco degradados. En la categoría media, estuvieron las mayores diferencias, el indicador atribuyó como bajo el 90.62 % de los polígonos que debían estar en la categoría media, por la distribución del porcentaje de la cobertura; comportamiento semejante tuvo la categoría alta, en la cual el indicador evaluó en la categoría media al 72.92 % de los polígonos que por sus características debían estar en alta. En la categoría muy alta, la diferencia está dada por los polígonos que, aunque tenían una cobertura predominantemente agrícola, se evaluaron con alta.

Los resultados del M alcanzaron una similitud del 98.53 %, 134 polígonos coincidieron con lo visto en las mismas categorías y 2 fueron inconsistentes. El análisis en el nivel de cada categoría evidencia una similitud del 100 % en muy baja (26 polígonos), 100 % en baja (17 polígonos), 100 % en media (32 polígonos), 95.83 % en alta (46 polígonos) y 100 % en muy alta (13 polígonos).

Los 2 polígonos que difirieron en la categoría alta fueron el que, a pesar de tener una cobertura de más del 34 % de bosques secundarios con predominio de arbustos y el 65.80 % de pastizales, el sistema lo incluyó en la categoría muy alta y el polígono con una distribución similar de cobertura boscosa secundaria con predominio de arbustos, herbáceas y pastizales que se incorporó en la categoría media.

El Gn, empleado por Bollo & Velazco (2018) como parte de un estudio para la evaluación de las condiciones medioambientales del estado de Michoacán en México, fue el que peores resultados arrojó comparativamente, al predominar en su agrupación los polígonos categorizados como muy degradados. Esto, a partir de evaluar la naturalidad de un territorio, por la existencia de coberturas de bosques primarios y no valorar otros factores que pudieran reflejar menor degradación, como el porcentaje de coberturas menos degradadas (bosques secundarios con predominio de arbustos o herbáceas).



En el cálculo del IACV, el nivel de similitud en los resultados en relación con las categorías base infiere la necesidad de utilizar otros métodos para establecer las clases o realizar ajustes manuales de los rangos. Este método de clasificación que aplicó el procedimiento de rompimiento natural ha sido usado por autores como Bollo & Velasco (2018), Morales et al. (2019), Ramón & Bollo (2023), entre otros.

En todos los casos, se manifiesta la necesidad de efectuar ajustes, para obtener resultados más acordes con las condiciones reales de la antropización del territorio. Esto queda evidenciado en el trabajo de Ramón & Bollo (2023), en el cual se aplicó dicho indicador en iguales condiciones que en la presente investigación. En el estudio de los citados autores, la diferencia de intervalos en la clasificación, después de ser ajustados, es de 0.1 con respecto al valor que sale por defecto de aplicar el método estadístico de rompimiento natural.

En el cálculo del KAN, en las referencias revisadas (Malchykova et al., 2015; Tabunschik et al., 2022), no se expone cómo organizan la distribución de los rangos. En el ejemplo mostrado, es claro que la distribución por rompimiento natural ofrece resultados que no requieren realizar ajustes significativos.

Los resultados del LDI en los trabajos consultados (Gorbunov et al., 2022; Rulev, 2007; Rulev & Pugacheva, 2019; Tubalov, 2023) tampoco revelan qué procedimiento usaron para su clasificación por rangos, así que quedando abierta la distribución de esos rangos a las necesidades de los autores. Con la aplicación del método empleado, los resultados no fueron satisfactorios, con el mayor peso de las incoherencias en los rangos medio y alto.

El M fue el índice que mejores resultados brindó bajo el método de rompimiento natural. El agrupamiento por categorías en este índice se realiza en las referencias revisadas por interpretación visual, a partir de una clave clasificatoria propuesta por Belem & Nucci (2011), adecuada a las condiciones de cada zona de estudio en los trabajos de Gusmão et al. (2021), Borges do Couto et al. (2022), entre otros. No se encontraron referencias de su evaluación, con base en métodos de distribución estadísticos.

4. Conclusiones

El análisis de la antropización a partir del estado de la cobertura y el uso del suelo en las unidades de paisajes antroponaturales, considerando sus polígonos correspondientes, refleja de manera sintética los distintos niveles de alteración que es posible apreciar en estos espacios, lo cual las convierte en las unidades espaciales idóneas para realizar este tipo de estudios en un área natural protegida.

De los 5 indicadores estudiados para evaluar la antropización en un ANP, solo 2 ofrecen resultados válidos, a partir del método estadístico empleado (rompimiento natural), para conformar las 5 categorías establecidas *a priori*: el KAN y el M, con un porcentaje de correspondencia con la categoría índice superior al 90 %, y del 98.53 %, en el caso de M. Los peores resultados recayeron en el LDI, IACV y Gn, con el 46.32 %, 52.21 % y 53.68 %, respectivamente.



En la distribución de la similitud de resultados por categorías, con la categoría base establecida, 4 indicadores ofrecen iguales resoluciones (100 %), para establecer la categoría muy baja; solo el Gn difiere al alcanzar el 61.54 % de exactitud. En la categoría baja, los peores resultados los tienen el Gn (35.29 %) y IACV (64.71 %), el resto de los indicadores ofrecen resultados aceptables superiores al 80 %; destaca M con el 100 %. En la categoría media, los peores resultados recaen en el IACV y LDI, con una coincidencia del 3.13 % y del 12.50 % el Gn; en los restantes indicadores es superior al 80 %, resalta M con el 100 %. En la categoría alta, los mejores niveles de coincidencia están en el KAN y M, con el 100 % y 95.33 %, respectivamente; el resto no alcanza el 50 % y, en el caso de Gn, es 0 la coincidencia. La categoría que reúne los paisajes más antropizados en los 5 indicadores presenta niveles que se pueden considerar adecuados (100 % en Gn, 100 % en M y 82.64 % en KAN); en los casos del IACV y LDI, los valores son del 69.23 % y 76.92 %, respectivamente.

En la revisión bibliográfica realizada de la aplicación del M, para el análisis de antropización de los paisajes, no se encontraron referencias de su evaluación a partir de métodos de distribución estadísticos. Por ello, los resultados obtenidos pueden contribuir a generalizar su aplicación para categorizar los rangos derivados de aplicar este indicador en ANP, sabiendo que es el que mejores resultados ofrece por el citado método de distribución de las categorías.

Finalmente, es necesario señalar la necesidad de continuar trabajando en la aplicación de los indicadores aquí tratados y de otros en más contextos geográficos (cuencas hidrográficas, municipios, estados), con vistas a evaluar de forma efectiva sus limitaciones y posibles adecuaciones a las condiciones naturales y socioeconómicas de los territorios estudiados.

5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Posgrado en Geografía y al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, ambas instituciones pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por su apoyo para esta investigación. Asimismo, agradecen a todas aquellas personas quienes con sus opiniones y sugerencias ayudaron a la realización del presente trabajo; además, a los revisores anónimos de la revista, por sus aportes, los cuales lo enriquecieron.

6. Ética y conflicto de intereses

Los autores declaran que han cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.





Referencias

- Battiston, R., di Pietro, W., Amerini, R. & Sciberras, A. (2020). The praying mantids (Insecta: Mantodea) as indicators for biodiversity and environmental conservation: a case study from the Maltese and Balearic archipelagos. *Biodiversity*, 21(3), 142-149. <https://doi.org/10.1080/14888386.2020.1848623>
- Belem, A. L. & Nucci, J. (2011). Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro Pici-Fortaleza/CE. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, (21), 204-233. <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/21247/14031>
- Berezhnyy, B. (2014). Methodical principles of anthropogenic transformation study of environment (on an example of Kupiansk district, Kharkiv region). *Human Geography Journal*, 16(1), 144-150. <https://periodicals.karazin.ua/socecongeo/article/view/346>
- Bollo, M. & Velazco, W. (2018). El Estado del Medio Ambiente en Michoacán de Ocampo. México. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 57(3), 118-139. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6504>
- Bollo, M., Martínez, A. & Martín, G. (2022). Los paisajes antropogénicos del municipio Morelia, Michoacán de Ocampo-México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 32(1), 50-69. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n1.92063>
- Borges do Couto, J. P., Nucci, J. C. & Liberti, E. (2022). Hemerobia como indicador de qualidade ambiental na bacia do Ribeirão dos Padilhas, Curitiba-Paraná-Brasil. *Acta Geográfica*, 16(41), 189-210. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v16i41.6639>
- Bourema, D. (2021). Anthropogenic transformation of environment. *Учредители: Пермский государственный национальный исследовательский университет*, 7(2), 36-48. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/12/2121>
- Cruz-Paz, G., Castillo, M., Espinoza-Tenorio, A., Bravo-Peña, L., Valencia, E. & Mesa-Jurado, M. (2018). Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta. La aplicación de un enfoque multicriterio. *Investigaciones geográficas*, (97). <https://doi.org/10.14350/rig.59482>
- Curra-Sánchez, E. D., Suárez, A. M. & Salinas-Chávez, E. (2015). Diagnóstico ambiental del sector costero Quibú-Almendares, municipio Playa, La Habana, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 35(2). <https://revistas.uh.cu/rim/article/view/5868>
- de Andrade, H. (2023). Interweaving the Sciences: the transdisciplinaryization of the Anthropocene. *Educação y Realidade*, 48, e121323. <https://doi.org/10.1590/2175-6236121323vs02>
- Diegues, A. C. (2008). *O mito moderno da natureza Intocada*, São Paulo: NUPAUB-USP. <https://nupaub.fflch.usp.br/sites/nupaub.fflch.usp.br/files/O%20mito%20moderno.compressed.pdf>





- Gorbunov, A. S., Mikhno, V. B. & Bykovskaya, O. G. P. (2022). Agricultural Landscape Studies in Russian Federation. *Current Landscape Ecology Reports*, 7(4), 83-95. <https://doi.org/10.1007/s40823-022-00072-9>
- Griffin, S. R., Bruninga-Socular, B. & Gibbs, J. (2021). Bee communities in restored prairies are structured by landscape and management, not local floral resources. *Basic and Applied Ecology*, (50), 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.12.004>
- Gusmão, L. H., Lobo, M. & Tourinho, H. (2021). Mudança do Uso e da Cobertura da Terra e Hemerobia das Paisagens: o caso da Região Geográfica Imediata de Belém-Pará (1985-2018). *Geografia (Londrina)*, 30(2), 169-189. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2021v30n2p169>
- Jenks, G. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography*, 7, 186-190. <http://spencer.lib.ku.edu/>
- Júnior, H. D. (2023). Interweaving the Sciences: the transdisciplinaryization of the Anthropocene. *Educação & Realidade*, 48, e121323. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-6236121323vs02>
- Lee, W. H., Abdullah, S. A. & Nor, S. B. M. (2019). Land use and landscape pattern changes on the inside and outside of protected areas in Urbanizing Selangor state, Peninsular Malaysia. *Journal of Landscape Ecology*, 12(2), 41-63. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0009>
- Malchykova, D., Ponomareva, A. & Molikeyvych, R. (2015). Environmental protection and spatial planning of eco-net strategies in regions with high level of anthropogenic transformation of geosystems. *Boletín científico de la Universidad Estatal de Jersón. Serie de Ciencias Geográficas*, (2), 92-107. <https://gj.journal.kspu.edu/index.php/gj/article/view/143/137>
- Mateo, J. M. y Ortiz, M. (2001). La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. *Nueva Época*, (1), 20-40. <https://biblat.unam.mx/es/revista/serie-varia-instituto-de-geografia-unam/articulo/la-degradacion-de-los-paisajes-como-concepcion-teorico-metodologica>
- Morales, H., Priego, A. G., Bollo, M. & Ríos, M. J. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. *Papeles de Geografía*, 65, p. 139-154. <http://dx.doi.org/10.6018/geografia.396571>
- Priego, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N. & Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907103>
- Ramón, A. & Bollo, M. (2023). El índice de antropización de la cubierta vegetal como medida de la antropización de áreas naturales protegidas: Caso Pico Azul-La Escalera, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 1-25. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-2.4>





- Ramón, A., Salinas, E. & Acevedo, P. (2011). La determinación de los conflictos de uso del territorio: Cuenca Alta del Río Cauto. Cuba. *Terra*, 27(42), 47-71. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892011000200003&lng=es&tylng=es
- Rulev, A. S. & Pugacheva, A. M. (2019). Formation of a new agroforestry paradigm. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89, 495-501. <https://doi.org/10.1134/S1019331619050071>
- Rulev, A. S. (2007). *Landscape-Geographical Approach in Agroforestry*. Rusia: VNIALM.
- Shishenko, P. G. (1988). Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. *Geografía Física Aplicada*. Editorial de la Escuela Superior de Kiev.
- Shishenko, P. G. (1999). *Principles and methods of landscape analysis in regional design*. Ucrania: Fytosotsyotsentr.
- Silva, M. A. & de Faria, K. M. (2021). Hemerobia de paisagem em áreas úmidas na zona urbana de Inhumas, GO, Brasil. *Terr@ Plural*, (15), 1-16. <https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/15201>
- Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller, E. & Lehmann, S. (1999). Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. En D. E. Hyatt, R. Lenz & Y. A. Pykh (eds.), *Environmental indices systems analysis approach. Advances in sustainable development*. Proceedings of the first international conference on environmental indices systems analysis approach (INDEX-97), St. Petersburg, Russia, July 7-11, 1997, EOLSS, Oxford, 237-254.
- Tabunschik, V., Gorbunov, R., Bratanov, N., Gorbunova, T., Mirzoeva, N. & Voytsekhovskaya, V. (2023). Fatala River Basin (Republic of Guinea, Africa): Analysis of Current State, Air Pollution, and Anthropogenic Impact Using Geoinformatics Methods and Remote Sensing Data. *Sustainability*, 15(22), 15798. <https://doi.org/10.3390/su152215798>
- Tabunschik, V., Gorbunov, R. & Gorbunova, T. (2022). Anthropogenic Transformation of the River Basins of the Northwestern Slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula). *Land*, 11(12), 2021. <https://doi.org/10.3390/land11122121>
- Taft, J. B., Hauser, C. & Robertson, K. R. (2006). Estimating floristic integrity in tallgrass prairie. *Biological Conservation*, 131(1), 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.006>
- Torres-Gómez, M., Delgado, L. E., Marín, V. H. & Bustamante, R. O. (2009). Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río Aisén (región de Aisén, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(1), 73-82. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2009000100005>
- Trischler, H. (2017). El Antropoceno, ¿un concepto geológico o cultural, o ambos? *Desacatos*, (54), 40-57. <https://www.scielo.org.mx/pdf/desacatos/n54/2448-5144-desacatos-54-00040.pdf>





- Tubalov, A. A. (2023). Spatial Principles of Territories Selection for Priority Development of Agroforestry Complexes. *Forests*, 14(6), 1225. <https://doi.org/10.3390/f14061225>
- Urbano, B., Ortigosa, D., Garcés Salazar, J., Aristeo-Hernández, J., González-Liano, M., Álvarez-Cerrillo, L. R., Alarcón, E., Hernández, R., Martínez, C., Sánchez, E., Tapia, P., Molina Garduño, E., Romero, L., Peláez, S., Galindo, E., Coca, D. & Reguero, M. (2019). Evaluación de la antropización usando a los moluscos como parámetro. En C. P. Ornelas-García, F. A. y A. Wegier (eds.), *Antropización: Primer análisis integral* (pp. 199-220). IBUNAM, CONACYT.
- Varenik, A. V. & Konovalov, S. K. (2023). Contribution of Atmospheric Depositions to Inventory of Nutrients in the Coastal Waters of Crimea. *Applied Sciences*, 13(5), 3178. <https://doi.org/10.3390/su152215798>
- Walz, U. & Stein, C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>
- Yukhnovskyi, V. Y. & Zibtseva, O. V. (2019). Estimation of ecological stability of small-town Bucha in Kyiv region. *Ukrainian Geographical Journal*, 2(106), 49-56. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.02.049>
- Zanozin, V. V. (2021). *Structure and Modern Anthropogenic Transformation of the Central Area of the Volga River Delta Landscape, Russia*. Perm State National Research University.

