

RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL PAISAJE EN UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA. CASO: PICO AZUL-LA ESCALERA, MICHOACÁN, MÉXICO

Adonis Maikel Ramón Puebla

Universidad Nacional Autónoma de México Morelia (UNAM), Morelia, Michoacán, México

E-mail: adonis.maikel@gmail.com

Manuel Bollo Manent

Universidad Nacional Autónoma de México Morelia (UNAM), Morelia, Michoacán, México

E-mail: mbollo@ciga.unam.mx

Miguel Ángel Porres Garcia

Universidad de La Habana (UH), La Habana, Cuba

E-mail: miguelangelporresgarcia@gmail.com

Resumen

La modificación de los paisajes en áreas naturales protegidas es un fenómeno de origen antropogénico que se evalúa a partir de múltiples indicadores. El uso de las unidades de paisajes que conforman estos territorios para establecer las modificaciones y transformaciones que en ellos ocurren, reflejan de manera sintética los distintos niveles de modificación de la vegetación. Estos cambios se evalúan generalmente a partir de alguno de estos tres indicadores cuantitativos: el índice de antropización de la cobertura vegetal, el coeficiente de transformación antropogénica y el índice de hemerobia. El objetivo de la investigación fue comparar la eficiencia de estos, tomando como base los paisajes de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera. Se aplicó el método de rompimiento natural para establecer cinco categorías de cada indicador, resultados que se compararon con la evaluación realizada en campo para establecer el porcentaje de similitud. Los mejores resultados de similitud recayeron en el Índice de hemerobia (98.53%) y el Coeficiente de transformación antropogénica (93.38%), el Índice de antropización de la cobertura vegetal fue el de menor desempeño (52.21%).

Palabras-chave: Antropización; Índice de antropización de la cobertura vegetal; Coeficiente de antropización; Índice de hemerobia.

COMPARATIVE RESULTS OF APPLYING THREE QUANTITATIVE METHODS TO EVALUATE THE ENVIRONMENTAL DEGRADATION OF THE LANDSCAPE IN A PROTECTED NATURAL AREA. CASE: PICO AZUL-LA ESCALERA, MICHOACÁN, MÉXICO

Abstract

The modification of landscapes in protected natural areas is a phenomenon of anthropogenic origin that is evaluated based on multiple indicators. The use of the landscape units that make up these territories to establish the modifications and transformations that occur in them synthetically reflect the different levels of vegetation modification. The changes are generally evaluated based on one of these three quantitative indicators: the anthropization index of the vegetation cover, the anthropogenic transformation coefficient and the hemerobia index. The objective of the research was to compare their efficiency, based on the landscapes of the Pico Azul-La Escalera Environmental Protection Zone. The natural breakage method was applied to establish five categories of each indicator, results that were compared with the evaluation carried out in the field to establish the

percentage of similarity. The best similarity results fell on the Hemerobia Index (98.53%) and the Anthropogenic Transformation Coefficient (93.38%), the Vegetable Cover Anthropization Index was the one with the lowest performance (52.21%).

Key words: Anthropization; Anthropization index of vegetation cover; Anthropization coefficient; Hemerobia index.

RESULTADOS COMPARATIVOS DE APLICAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA AVALIAR A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA PAISAGEM EM UMA ÁREA NATURAL PROTEGIDA. CASO: PICO AZUL-LA ESCALERA, MCHOACÁN, MÉXICO

Resumo

A alteração das paisagens em áreas naturais protegidas é um fenômeno de origem antropogênica que é avaliado por meio de múltiplos indicadores. O uso das unidades de paisagem que compõem esses territórios para estabelecer as modificações e transformações que ocorrem neles reflete de forma sintética os diferentes níveis de modificação da vegetação. Essas mudanças são geralmente avaliadas a partir de um dos três indicadores quantitativos: o índice de antropização da cobertura vegetal, o coeficiente de transformação antropogênica e o índice de hemerobia. O objetivo da pesquisa foi comparar a eficiência desses indicadores, tendo como base as paisagens da Zona de Proteção Ambiental Pico Azul-La Escalera. O método de quebra natural foi aplicado para estabelecer cinco categorias para cada indicador, cujos resultados foram comparados com a avaliação realizada em campo para estabelecer o percentual de similaridade. Os melhores resultados de similaridade foram obtidos com o Índice de hemerobia (98,53%) e o Coeficiente de transformação antropogênica (93,38%), sendo que o Índice de antropização da cobertura vegetal teve o desempenho mais baixo (52,21%).

Palavras-chave: Antropização; Índice de antropização da cobertura; vegetal. Coeficiente de antropização; Índice de hemerobia.

Introducción

El término antropización, señalan Álvarez, Patricia y Wegier (2019), ha estado en uso durante mucho tiempo; pero comienza a escucharse cada vez más la necesidad de plantear métodos de estudio que permitan darles seguimiento y evaluar su impacto en los paisajes donde hace su aparición. Priego *et al.* (2004) plantean que la antropización puede tratarse a partir del uso del suelo y el estado de la vegetación y sus modificaciones, debido a que revela de manera sintética y cuantitativa los niveles de alteración geocológica existentes en un espacio determinado.

Para estimar la modificación antropogénica de los paisajes a partir del uso del suelo y el estado de la vegetación, los tres índices más usados a nivel global son: el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV) propuesto por Shishchenko (1988), el Coeficiente de Transformación Antropogénica (KAN) también propuesto por Shishchenko (1999) y el Índice de Hemerobia (IH) propuesto por Steinhardt *et al.* (1999).

El IACV, ha sido aplicado muy aplicado en México en trabajos realizados por Priego *et al.* (2004), Bollo y Velasco (2018), Morales *et al.* (2019), Ramón y Bollo (2013), entre otros. El KAN se ha usado en Cuba, en los trabajos realizados por Ramón, Salinas y Acevedo (2011). En Rusia y Ucrania en los trabajos de Malchykova, Ponomareva y Molikeyvych (2015); Yukhnovskyi y Zibtseva (2019), entre otros. El IH destaca en las evaluaciones realizadas en Brasil por autores como Belem y Nucci (2011), Leite, da Silva y Nucci (2019), Borges do Couto, Nucci y Liberti (2022), entre muchos otros; y en Europa del este por Walz y Stein (2014); Nemethy (2021), entre otros.

Los referidos métodos, permiten realizar una medición cuantitativa de la variación espacial de la degradación de la vegetación por los procesos de antropogenización. Lo anterior, plantean Mateo y Ortiz (2001), permite evaluar estas transformaciones como la disminución de los atributos y propiedades sistémicas de los paisajes, lo que les impide cumplir determinadas funciones, incluyendo las socioeconómicas, los mecanismos de autorregulación y su capacidad productiva, esto se manifiesta en distintos niveles de degradación geocológica.

Los paisajes antropogénicos, resultado de la antropogenización de los paisajes naturales, según Bollo, Martínez y Martín (2023), son el resultado del proceso histórico de apropiación y modificación de los paisajes naturales o físico-geográficos (f-g), de la asignación por parte de grupos sociales de determinados usos o funciones, las cuales introducen elementos antropogénicos y los transforman durante la actividad socioproductiva para dar respuestas a sus necesidades. Los cambios introducidos modifican el paisaje natural, producen alteraciones en las relaciones entre sus componentes y su dinámica, si mantienen la autorregulación, su funcionamiento y estructura de manera natural se origina un paisaje natural modificado que se denomina paisaje antroponatural. Cuando los cambios provocan fuertes transformaciones del paisaje, no se mantiene la autorregulación del sistema, comienzan a aparecer los procesos de degradación, y se origina un paisaje antrópico.

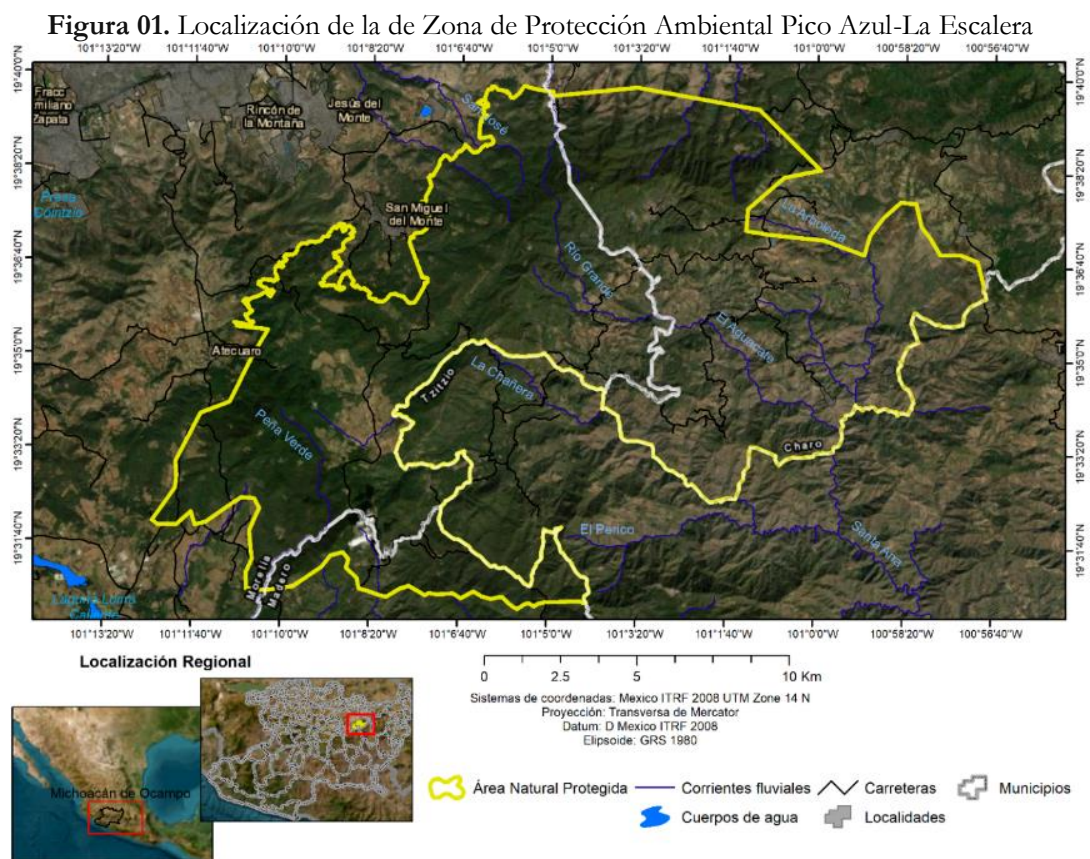
Estos planteamientos, expresan Espinoza y Bollo (2015), permiten estudiar de manera dinámica, sistemática, comparativa, cuantitativa y cualitativamente la modificación antrópica de un territorio. En este contexto, la investigación se propone a partir del mapa de los paisajes antroponaturales de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, México, realizar un análisis comparativo de los resultados de evaluar la antropización de los paisajes con el IACV de Shishchenko (1988); el KAN de Shishchenko (1999) y el IH de

Steinhardt *et al.* (1999), para establecer que método ofrece mejores resultados para realizar este tipo de evaluaciones en áreas naturales protegidas (ANPs).

Metodología

Área de estudio

La Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, con 22400.57 ha, se localiza, entre las coordenadas geográficas: 19°39'48.522'' y 19°30'31.325'' de latitud norte y los 101°12'24.765'' y 100°56'48.567'' de longitud oeste. Abarca parte del territorio de los municipios Morelia, Charo y Madero del Estado de Michoacán, México (Figura 1).



Fuente: Elaborado por los autores.

La superficie del territorio según datos de Ramón y Bollo (2023), es predominante forestal (85.49 %). El 45.33 % se considerada vegetación primaria, el 13.81 % presenta algún nivel de modificación debido al predominio de la cobertura arbustiva y el 40.86 % presentan un alto grado de perturbación debido al predominio de bosques secundarios con predominio

de herbáceas. En relación con otros usos del suelo, los pastizales inducidos ocupan el 9.38 % de la superficie, seguido por las áreas dedicadas a la agricultura temporal con un 2.26 % y los cultivos permanentes con el 1.50 %. El área de asentamientos humanos alcanza solo el 0.48 % de la superficie total.

Paisajes antroponaturales

Se utiliza el mapa de paisajes f-g de Ramón y Bollo (2023) para generar el mapa de paisajes antropogénicos para el año 2021. Se partió de cruzar las comarcas del mapa paisaje f-g de Ramón y Bollo (2023) con el uso de la herramienta *Union* del software *ArcGIS* 10.8.2, con el mapa de vegetación y uso del suelo para el año 2021, generado a partir de la imagen Landsat LC08 L1TP 027046 20210226 20210304 01 T1 por medio de una clasificación supervisada con una evaluación de confiabilidad del 94.5 %.

Como resultado de este cruce se generan 24 unidades de paisajes; clasificadas como antroponaturales de acuerdo con las características de diferenciación originada y la clasificación tipológica de la coberturas y usos del suelo. Las 24 unidades de paisajes quedaron a su vez constituidas por 136 polígonos con características diferenciadas en su cobertura y uso del suelo, por lo cual se tomaron como las unidades básicas de análisis para la evaluación de la antropización por los tres métodos referidos.

Indicadores

Índice de antropización de la Cubierta vegetal (IACV)

Propuesto Shishchenko (1988), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IACV = \frac{\sum_{i=1}^n ri * Aij}{Aj}$$

Donde: ri = Valor de ponderación del tipo i de utilización; Aij = Área dedicada al tipo de utilización i en la unidad de paisaje j ; Aj = Área de la unidad de paisaje j (km^2).

El cálculo del IACV se realiza a partir de cada uso de suelo o cobertura contenidos en cada polígono. Se le asigna un valor ponderado entre 0.01 a 0.99, el valor más bajo de ponderación se otorga a las coberturas menos degradadas y el valor más alto a los tipos de usos que originan una mayor intensidad de degradación de la cobertura vegetal o su eliminación (Tabla 1).

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

Tipos de cobertura o uso del suelo	ri
Bosque 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	0.98

Fuente: Ramón y Bollo (2023).

El valor del índice se expresa de cero a uno, donde un valor cercano a cero indica paisajes muy poco modificados y un valor cercano a 1, paisajes muy degradados.

Coefficiente de transformación antropogénica de los paisajes (KAN)

Propuesto Shishchenko (1999) se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Donde: ri= rango de transformación antropogénica de los paisajes del tipo i; pi= porcentaje de superficie de cada tipo de cobertura dentro de la unidad (%); q= índice de la profundidad de transformación del paisaje. Como en el caso anterior, el cálculo del KAN se realiza a partir de cada uso de suelo o estado de la cobertura vegetal contenidos en cada polígono de paisaje. Se le asigna un valor ponderado que va desde 1 hasta 9 a cada tipo de cobertura o uso, según su grado de transformación (Tabla 2).

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

Tipos de cobertura o uso del suelo	ri
Bosque 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	7

Fuente: Elaborado a partir de Shishchenko (1999).

El q se determina por método de experto y caracteriza el peso de cada uno de los tipos de utilización de la naturaleza en la transformación sumaria de la unidad paisajística dada. Se proponen los siguientes índices a partir de la analogía establecida con la propuesta de Shishchenko (1999) (Tabla 3).

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

Tipos de cobertura o uso del suelo	q
Bosque primarios	1
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	1.3

Fuente: Elaborado por los autores a partir de Shishchenko (1999).

El valor del índice se expresa de cero a 10, donde un valor cercano a cero indica paisajes muy poco modificados y un valor cercano a 10, paisajes con altos niveles de modificación.

Índice de Hemerobia (IH)

Propuesto Steinhardt *et al.* (1999), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IH = 100 \sum_{h=1}^n \left(\frac{fn}{n} \right) * h$$

Donde: b = factor de hemerobia (lineal de $b=1$ para la mínima categoría, hasta $b=n$ para la máxima categoría); n = número de categorías de hemerobia; fn = proporción del área de la categoría n (%). El cálculo del M se realiza a partir de los porcentajes que ocupa cada uso o cobertura de suelo mediante la asignación de los impactos correspondientes a los factores de hemerobia y su designación cualitativa en cada polígono de paisaje antroponatural (Tabla 4), donde ahemerobia sería un paisaje sin intervención humana, y metahemerobia sería un paisaje completamente antrópico.

Tabla 4. Clasificación del impacto humano sobre los componentes del paisaje y su grado de hemerobia.

Valor de hemerobia	Grado de hemerobia	Tipos de cobertura o uso del suelo
1	Ahemerobia	Bosque 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	Polihermerobia	Agricultura de temporal
7	Metahemerobia	Asentamientos

Fuente: Elaborado por los autores a partir de Steinhardt *et al* (1999).

El valor del índice se expresa de cero a 100, donde un valor cercano a cero indica paisajes naturales o muy conservados y un valor cercano a 100, paisajes muy degradados.

Índice base para evaluación de la similitud

Los resultados de los tres indicadores se clasificaron en cinco rangos, se utilizó el método de rompimiento natural de Jenks (1967). Este método se prefirió debido a que agrupa los datos de forma natural, maximiza las diferencias entre las clases y facilita la comparación. Es un comúnmente utilizado en este tipo de análisis (Bollo; Velasco, 2018; Morales *et al.*, 2019; Ramón; Bollo, 2023, entre otros).

Para la comparación, se estableció un índice base que refleja el contenido óptimo de cada categoría. Se consideran los porcentajes de cobertura primaria y/o secundaria de vegetación, así como los usos del territorio (agrícola o pecuario) y la presencia de asentamientos humanos (Tabla 5). Este índice se definió mediante evaluaciones de campo de la cobertura y los tipos de uso en la unidad de paisaje, considerando las propuestas de Belem y Nucci (2011), Borges do Couto, Nucci y Liberti (2022), Ramón y Bollo (2023) para establecer los rangos de degradación. Las categorías se definieron en función de la disminución de la cobertura boscosa primaria, el aumento de la vegetación secundaria arbustiva y herbácea, y el incremento de la actividad agropecuaria en la unidad de paisaje.

Tabla 5. Definición de las categorías base de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes.

Categoría	Polígonos	Descripción
Muy Baja	26	Bosques primarios (70-100 %); bosques secundarios con predominio de arbustos (<25 %); bosques secundarios con predominio de herbáceas (<10 %); pastizales inducidos, cultivos permanentes y agricultura de temporal (<5 %); no se encuentran asentamientos humanos
Baja	17	Bosques primarios (50-70 %); bosques secundarios con predominio de arbustos (<75 %); bosques secundarios con predominio de herbáceas (<30 %); pastizales inducidos, cultivos permanentes y agricultura de temporal (<10 %); no se encuentran asentamientos humanos o algunos muy pequeños
Media	32	Bosques primarios (<50 %); bosques secundarios con predominio de arbustos (<100 %); bosques secundarios con predominio de herbáceas (<50 %); pastizales inducidos, cultivos permanentes y agricultura de temporal (<15 %); se pueden encontrar asentamientos humanos de pocas viviendas
Alta	48	Bosques primarios (<20 %); bosques secundarios con predominio de arbustos (<60 %); bosques secundarios con predominio de herbáceas (<100 %); pastizales inducidos, cultivos permanentes y agricultura de temporal (<50 %); se pueden encontrar asentamientos de pocas viviendas y otros con población concentrada
Muy Alta	13	Bosques primarios (<10 %); bosques secundarios con predominio de arbustos (<10 %); bosques secundarios con predominio de herbáceas (<45 %); pastizales inducidos, cultivos permanentes y agricultura de temporal (<70 %), se pueden encontrar asentamientos con población concentrada

Fuente: Elaborado por los autores.

Resultados

Se compararon los resultados obtenidos por cada indicador para el territorio en estudio, con las categorías propuestas en el índice guía de la tabla 5, lo cual permite establecer la exactitud de los resultados de cada índice evaluado con las categorías bases (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de resultados.

Indicador	Categorías	Cantidad de polígonos similares	Cantidad de polígonos diferentes
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
IH	Muy baja	26	2
	Baja	17	0
	Media	32	0
	Alta	46	2
	Muy alta	13	0
	Total	134	2

Fuente: Elaborado por los autores.

El análisis comparativo de los resultados del IACV, con la categoría base, reveló una similitud del 52.21 %, 71 polígonos coincidieron con los resultados en las mismas categorías y 65 resultaron inconsistentes. A nivel de categorías se evidencia una similitud del 100 % con la categoría muy baja (26 polígonos), 64.71 % con la categoría baja (11 polígonos), 3.13 % con la categoría media (1 polígono), 47.92 % con la categoría alta (23 polígonos) y 76.92 % con la categoría muy alta (10 polígonos).

Las principales dificultades en este indicador estuvieron que clasificó dentro del rango muy bajo, polígonos que tenían una cobertura boscosa primaria inferior al 60 % y un porcentaje superior de cobertura de bosques secundarios al establecido en la tabla 5. En la categoría media, los desaciertos se vinculan, a clasificar como categoría baja, 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; que acorde a la distribución de porcentajes de coberturas de la tabla 5, debían estar en la categoría media.

En la categoría alta, las diferencias radican, en que clasifica dentro de esta categoría, polígonos que por sus condiciones se debían encontrar en la categoría media, por predominar los bosques secundarios con predominio de herbáceas o proporciones similares de cobertura de bosques secundarios con predominio de arbustos, herbáceas y pastizales inducidos. Con

la categoría muy alta, las diferencias estuvieron en tres polígonos con cobertura predominante de pastizales inducidos que quedaron clasificados dentro del rango alto.

Los resultados del KAN alcanzaron una similitud del 93.38 %, 127 polígonos coincidieron con los resultados en las mismas categorías y 9 resultaron inconsistentes. A nivel de categoría se evidencia una similitud del 100 % con la categoría muy baja (26 polígonos), 84.24 % con la categoría baja (15 polígonos), 84.36 % con la categoría media (32 polígono), 100 % con la categoría alta (48 polígonos) y 84.62 % con la categoría muy alta (11 polígonos).

La categoría baja registro una similitud del 64.71 %, los dos polígonos en los que radico la 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 dicha categoría. En la categoría media, la principal diferencia estuvo en tres polígonos que a pesar de tener un 100 % de cobertura arbustiva, el sistema los agrupó en la categoría baja y dos en las mismas condiciones, los agrupó en la categoría muy baja. En la categoría muy alta la diferencia fue con polígono que a pesar de tener una cobertura del 100 % de pastizales inducidos quedo agrupada en la categoría alta.

Los resultados del IH, alcanzaron una similitud del 98.53 %, 134 polígonos coincidieron con los resultados en las mismas categorías y dos resultaron inconsistentes. El análisis a nivel de categorías evidencia una similitud del 100 % con la categoría muy baja (26 polígonos), 100 % con la categoría baja (17 polígonos), 100 % con la categoría media (32 polígono), 95.83 % con la categoría alta (46 polígonos) y 100 % con la categoría muy alta (13 polígonos).

Los dos polígonos que difirieron en la categoría alta consistieron en uno que a pesar de tener una cobertura de más del 34 % de bosques secundarios con predominios de arbustos y el 65.80 % de pastizales, el sistema lo agrupo en la categoría muy alta y un polígono con una distribución similar de cobertura boscosa secundaria con predominio de arbustos, herbáceas y pastizales, lo incluyo en la categoría media.

En el cálculo del IACV, el nivel de similitud en los resultados con relación a 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 aplicando rompimiento natural ha sido empleado por autores como: Bollo y Velasco (2018); Morales *et al.* (2019) y Ramón y Bollo (2023) entre otros. En todos los casos se manifiesta la necesidad de realizar ajustes manuales a los rangos para obtener resultados más acordes a las condiciones reales de antropización del territorio.

En el cálculo del KAN, en las referencias citadas en la metodología, no exponen como organizan la distribución de los rangos. En el ejemplo mostrado es claro que la distribución por rompimiento naturales ofrece resultados que no requieren realizar ajustes significativos.

Los resultados del IH, a pesar de que fue el índice que mejores resultados brindó bajo el método de rompimiento natural. El agrupamiento por categorías en este índice se realiza por interpretación visual, a partir de una clave de clasificación propuesta por Belem e Nucci (2011), que es adecuada a las condiciones de cada zona de estudio (Leite *et al.*, 2019; Borges do Couto *et al.*, 2022, entre otros). No se encontraron referencias de su evaluación en rangos a partir de métodos de distribución estadísticos.

Conclusiones

Los tres índices ofrecen resultados válidos que reflejan el estado de antropización de los paisajes a partir del método de rompimiento natural, para conformar las 5 categorías que se establecieron a priori, los resultados más satisfactorios recayeron en el KAN y la IH, con un porcentaje de correspondencia del 93.38 % en el KAN y del 98.53% en el IH, el peor resultado lo obtuvo el IACV con solo el 52.21%.

En la distribución de la similitud de resultados por categorías, con la categoría base establecida, los tres métodos ofrecen iguales resultados (100 %) para establecer la categoría muy baja; aunque en el caso del IACV, el 18.75 % de los polígonos de la categoría muy baja estaban dentro de la categoría baja de la línea base y el 6.2 % de los del KAN. En la categoría media los peores resultados recaen en el IACV, con una disimilitud del 96.88 %; en el KAN es del 15.63 %. En la categoría alta, los mejores niveles de coincidencia están en el KAN e IH, con el 100 % y 95.33 % respectivamente, el IACV alcanza el 35.29 %. La categoría que reúne los paisajes más antropizados en los tres indicadores presenta niveles que se pueden considerar adecuados; en el caso del KAN e IH, están por encima del 95 % (100 % en el KAN) y el IACV, registra los peores resultados (76.92 %).

En las revisiones bibliográficas realizadas en que se aplicó IH para análisis de antropización en paisajes, no se encontraron referencias de su evaluación a partir de métodos de distribución estadísticos, por lo que los resultados aquí obtenidos pueden contribuir a generalizar su aplicación para categorizar los rangos resultantes de aplicar este indicador.

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 al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología de México (CONAHCYT), por su apoyo en la realización de esta investigación.

Referencias

- ÁLVAREZ, F.; PATRICIA, C.; WEGIER, A. Antropização: um termo antigo com um novo significado. In: ORNELAS-GARCÍA, C. P.; ÁLVAREZ, F. A.; WEGIER, A. (Eds.). **Antropização: primeiro análise integral**. México: ibunam, CONACYT, 2019. p. 125-148.
- BELEM, A. L.; NUCCI, J. Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro Pici-Fortaleza/CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, n. 21, p. 204-233, 2011.
- BOLLO, M.; VELAZCO, W. El Estado del Medio Ambiente en Michoacán de Ocampo. **Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada**, v. 57, n. 3, p. 118-139, 2018.
- BOLLO, M.; MARTÍNEZ, A.; MARTÍN, G. Los paisajes antropogénicos del municipio Morelia, Michoacán de Ocampo-México. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 32, n. 1, p. 50-69, 2023.
- BORGES DO COUTO, J. P.; CARLOS NUCCI, J.; LIBERTI, E. Hemerobia como indicador de qualidade ambiental na bacia do Ribeirão dos Padilhas, Curitiba-Paraná-Brasil. **Acta Geográfica**, v. 16, n. 41, p. 189-210, 2022.
- ESPINOZA, A.; BOLLO, M. La tipología de los paisajes antroponaturales como base para el ordenamiento ecológico territorial a diferentes escalas. En: SORANI, V.; ALQUICIRA, M. A. (comp.). **Perspectivas del ordenamiento territorial ecológico en América y Europa**. México: Arlequín Editorial y Servicios, S.A de C.V., 2015.
- JENKS, G. The data model concept in statistical mapping. **International yearbook of cartography**, v. 7, p. 186-190, 1967.
- LEITE, H.; DA SILVA, M.; NUCCI, J. As paisagens do município de Pinhais (Paraná/Brasil): uma abordagem segundo o conceito de hemerobia. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 72, p. 189-201, 2019.
- MALCHYKOVA, D.; PONOMAREVA, A.; MOLIKEYVYCH, R. Environmental protection and spatial planning of eco-net strategies in regions with high level of anthropogenic transformation of geosystems. **Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки»**, n. 2, p. 92-107, 2015.

MARTÍNEZ, C.; SÁNCHEZ, E.; TAPIA, P.; GARDUÑO, E.; ROMERO, L.; PELÁEZ, S.; HERNÁNDEZ, R. Evaluación de la antropización usando a los moluscos como parámetro. En: ORNELAS-GARCÍA, C. P.; ÁLVAREZ, F. A.; WEGIER, A. (Eds). **Antropización: Primer análisis integral**. México: ibunam, conacyt, 2019. pp. 199-220.

MARTÍNEZ-DUEÑAS, W. A. INRA Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. **Revista Intropica**, n. 5, p. 45-54, 2010.

MATEO, J.; ORTIZ, M. La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. México: **Nueva Época**, Instituto de Geografía, UNAM, 2001. (1).

MATEO, J. **Geografía de los paisajes. Paisajes naturales**. 1.^a ed. La Habana: Editorial Universitaria, 2011.

MORALES, H.; PRIEGO, Á.; BOLLO, M.; RÍOS, M. La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. **Papeles de Geografía**, n. 65, p. 139-154, 2019.

NEMETHY, S. New, regenerative approaches to sustainability: Redefining ecosystem functions, environmental management, and heritage conservation. **Ecocycles**, v. 7, n. 2, p. 86-91, 2021.

PRIEGO, Á.; COTLER, H.; FREGOSO, A.; LUNA, N.; ENRÍQUEZ, C. La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. **Gaceta Ecológica**, n. 71, p. 23-38, 2004.

RAMÓN, A.; BOLLO, M. 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**, v. 57, n. 2, p. 1-25, 2023.

RAMÓN, A.; SALINAS, E.; ACEVEDO, P. La determinación de los conflictos de uso del territorio: Cuenca Alta del Río Cauto. Cuba. **Terra**, v. 27, n. 42, p. 47-71, 2011.

SHISHCHENKO, P. G. **Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. Geografía Física Aplicada**. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania, 1988.

SHISHCHENKO, P. **Principles and methods of landscape analysis in regional design**. Fytosotsyotsentr, Kiev, 1999. (in Ukrainian).

STEINHARDT, U.; HERZOG, F.; LAUSCH, A.; MÜLLER, J.; LEHMANN, E. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. En: HYATT, D. E.; LENZ, R.; PYKH, Y. A. (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. Oxford: EOLSS, 1999. p. 237-254.

TABUNSHCHIK, V.; GORBUNOV, R.; GORBUNOVA, T. Anthropogenic Transformation of the River Basins of the Northwestern Slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula). **Land**, v. 11, n. 12, p. 2121, 2022.

Resultados comparativos de la aplicación de tres métodos cuantitativos para evaluar la degradación ambiental del paisaje en un área natural protegida. Caso: Pico Azul-La Escalera, Michoacán, México. Adonis Maikel Ramón Puebla; Manuel Bollo Manent; Miguel Ángel Porres García.

WALZ, U.; STEIN, C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. **Journal for Nature Conservation**, v. 22, n. 3, p. 279-289, 2014.

YUKHNOVSKYI, V. Y.; ZIBTSEVA, O. V. Estimation of ecological stability of small-town Bucha in Kyiv region. **Ukrainian Geographical Journal**, v. 2, n. 106, p. 49-56, 2019.