

Evaluación cuantitativa de conflictos de uso del suelo en áreas naturales protegidas. Caso de estudio: Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, México

Quantitative Assessment of Land-Use Conflicts in Natural Protected Areas: Case Study of the Pico Azul-La Escalera Environmental Protection Zone, Mexico

Adonis Maikel Ramón Puebla* y Manuel Bollo Manent**

Recibido: 14/10/2025. Aceptado: 10/02/2026. Publicado: 3/03/2026.

Resumen. Las áreas naturales protegidas enfrentan el desafío de equilibrar objetivos de conservación con las necesidades de las comunidades locales. Se presenta un modelo cuantitativo de ponderación de coberturas y tipos de uso del suelo que estima un índice al contrastar el uso vigente con el potencial de uso previamente establecido para el territorio. El modelo se aplicó a la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, y se utilizaron los paisajes antroponaturales como unidad de análisis. Los resultados revelan que el 34.93 % del territorio presenta conflictos altos a muy altos y se concentran en las regiones centro, este y sureste. El modelo opera con tres esquemas de evaluación seleccionados según el potencial primario de cada polígono de paisaje: 1) conservación, turismo de naturaleza, aprovechamiento de los recursos forestales no maderables del bosque, 2) usos agropecuarios, y 3) restauración. Esta diferenciación asegura una evaluación contextual de la incompatibilidad uso/potencial. La investigación aporta una herramienta robusta, espacialmente explícita y sensible al contexto, adecuada para priorizar acciones de manejo, restauración y gobernanza en espacios naturales protegidos.

Palabras claves: evaluación cuantitativa, conflictos de uso, planificación territorial, áreas naturales protegidas, paisajes antroponaturales.

Abstract. Natural Protected Areas face the challenge of balancing conservation objectives with the needs of local communities. This study presents a quantitative weighting model based on land cover and land-use type that estimates a conflict index by contrasting current land use with the potential use defined for the territory. The model was applied in the Pico Azul–La Escalera Environmental Protection Zone, using anthroponatural landscapes as the unit of analysis. Results indicate that 34.93% of the territory exhibits high to very high conflict, concentrated in the central, eastern, and southeastern regions. The model operates through three evaluation schemes selected according to each polygon's primary potential: 1) conservation, nature-based tourism, and non-timber forest product use; 2) agricultural uses; and 3) restoration. This differentiation ensures a contextual assessment of use–vocation incompatibility. The contribution is a robust, spatially explicit, and context-sensitive

* Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Correo-e: adonis.maikel@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2515-2508>.

** Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Correo-e: mbollo@ciga.unam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2254-6816>. Autor de correspondencia.

tool suitable for prioritizing management, restoration, and governance actions in protected areas.

Keywords: quantitative assessment; land-use conflicts; spatial planning; natural protected areas; anthropo-natural landscapes

INTRODUCCIÓN

En territorios con múltiples usos y actores, los conflictos de uso del suelo son un obstáculo directo para la conservación y la provisión de servicios ambientales (Chen *et al.*, 2024). En el contexto de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), los conflictos de uso del suelo se definen como la manifestación espacial de incompatibilidades entre las demandas y las funciones del territorio, donde coexisten o compiten usos que contravienen la aptitud biofísica, el marco regulatorio o las metas de conservación (Liu *et al.*, 2024). La resolución de las incompatibilidades es crucial en espacios protegidos, pues su persistencia deteriora la efectividad de las intervenciones de manejo y conservación (Chen *et al.*, 2024).

En México, la presión sobre las ANP alcanza niveles altos por la interacción de factores socioeconómicos complejos, lo que incrementa la urgencia de contar con herramientas analíticas capaces de ofrecer un diagnóstico preciso del fenómeno (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; CONANP, 2020). Para responder a esta necesidad, cobran especial relevancia los análisis cuantitativos que comparan el estado actual del paisaje con un estado de referencia o potencial, un enfoque clave en la planificación para la conservación (Geneletti y van Duren, 2008).

La construcción de un escenario de uso potencial con la integración de variables biofísicas y socioeconómicas para determinar aptitud y vocación del territorio funciona como prerrequisito metodológico para una evaluación objetiva de los conflictos (Malczewski, 2004).

Para la formulación de índices capaces de medir desajustes en la relación potencial–uso, la literatura recomienda análisis espacial multicriterio en Sistemas de Información Geográfica (SIG), con pesos explícitos y trazables, evaluación de incertidumbre

y validación con evidencia independiente (Cohen *et al.*, 2024). Esa familia de métodos permite operacionalizar incompatibilidad (desajuste aptitud–uso–regla) y exposición (intensidad de presión antrópica), con productos cartográficos que apoyan priorización de intervenciones (Bousquet *et al.*, 2023).

Sin embargo, la literatura también reconoce una crítica recurrente: la asignación de pesos en modelos multicriterio incorpora juicio experto y puede inducir sensibilidad del resultado cuando no existe evaluación formal de estabilidad, en particular en procesos de clasificación por umbrales y jerarquización espacial de focos críticos (Malczewski, 2004; Geneletti y van Duren, 2008). En consecuencia, la discusión metodológica reciente subraya la necesidad de reportar incertidumbre y de someter los parámetros a pruebas de sensibilidad como condición de rigor para inferencias espaciales con fines de gestión (Cohen *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2024).

El estudio atiende esa exigencia metodológica al integrar un control explícito de robustez sobre la parametrización del índice. Además de proponer un esquema de ponderación por coberturas y tipos de uso, la evaluación incorpora un análisis de sensibilidad mediante perturbación de los coeficientes y cuantificación de estabilidad del resultado, con énfasis en permanencia de categorías críticas de conflicto y consistencia del patrón espacial (Chen *et al.*, 2024; Cohen *et al.*, 2024). Ese control reduce dependencia de una elección particular de pesos y fortalece la interpretación del conflicto como propiedad estructural asociada a la configuración del paisaje y a su potencial territorial (Bryan, 2013; Geneletti y van Duren, 2008).

El presente trabajo forma parte de una propuesta de zonificación del ANP, con uso de paisajes antroponaturales como unidad fundamental de análisis espacial. Como antecedente de la evaluación de conflictos de uso, se estableció la evaluación del potencial primario y secundario de las unidades de paisaje para alternativas de uso en el ANP: conservación, turismo de naturaleza, aprovechamiento de recursos forestales no madereros, ganadería extensiva, agricultura de temporal y restauración (Ramón *et al.*, 2024).

El objetivo central consiste en el diseño y la aplicación de un modelo cuantitativo de ponderación por

coberturas y tipo de uso del suelo, orientado a estimar magnitud y distribución espacial de conflictos de uso en la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera. El modelo contrasta el potencial de uso primario y secundario para 2021 con el uso vigente del suelo del mismo año, con elaboración propia.

La investigación presenta un índice de conflicto de uso con representación espacial explícita y ofrece una herramienta diagnóstica para priorización de acciones de manejo, restauración ecológica y gobernanza territorial en paisajes con alto valor para la conservación.

ÁREA DE ESTUDIO

El territorio ocupado por Pico Azul-La Escalera (22400.57 ha), se declaró en 2011 Zona de Protec-

ción Ambiental por sus atributos físicos, climáticos y de conservación. Aporta servicios ambientales con énfasis en la regulación del flujo hídrico, purificación y retención de agua, infiltración para recarga de acuíferos, control, prevención de inundaciones y regulación de sedimentos. Ofrece áreas de alto valor escénico para la recreación, de especial relevancia para la población de la ciudad de Morelia. Se localiza en la zona de transición entre las montañas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, en la región centro-sur de México (véase Figura 1). Las coordenadas geográficas se sitúan entre 19° 39' 48.52" y 19° 30' 31.33" N, y entre 101° 12' 24.77" y 100° 56' 48.57" O (Ramón y Bollo, 2023).

La región presenta un clima templado, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C y precipitación anual entre 200 y 1800 mm; los suelos son: Andosoles (34.76 %), Luvisoles (27.82 %) y

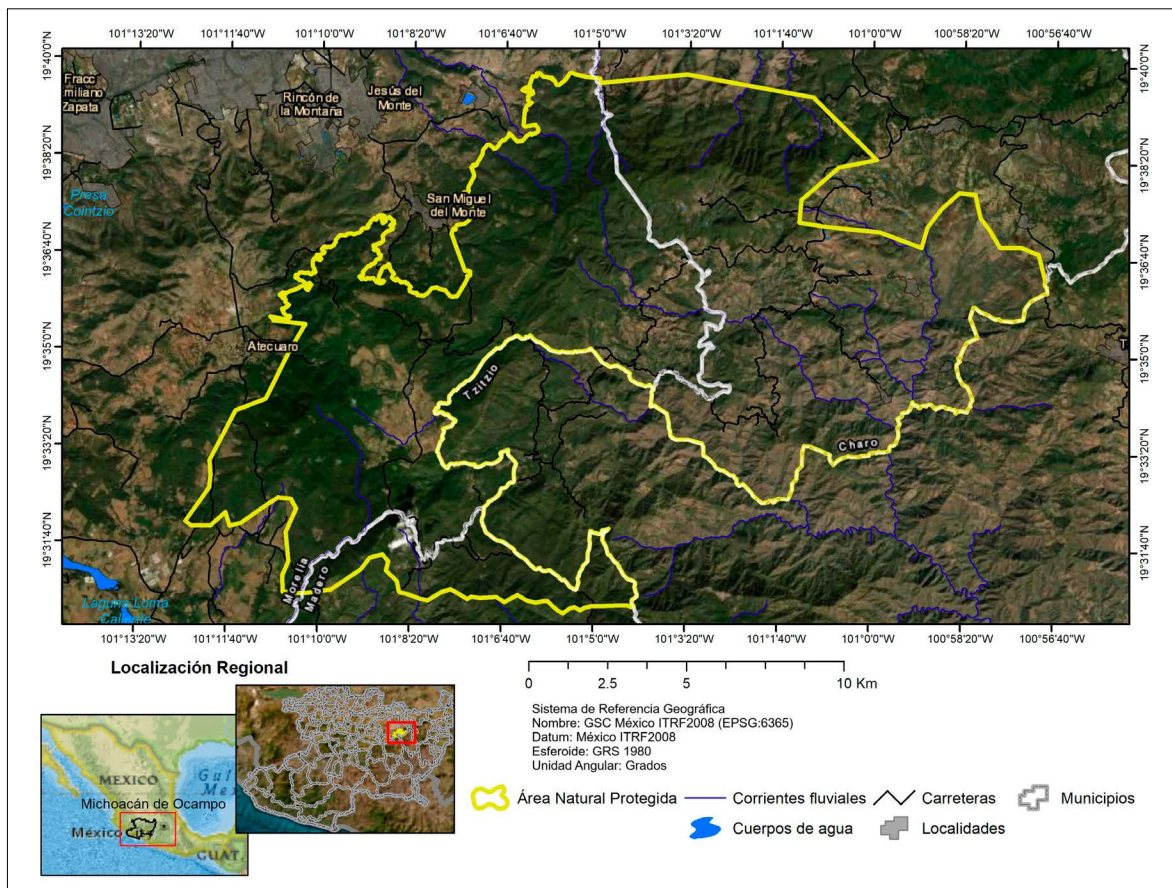


Figura 1. Ubicación geográfica de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera. Fuente: laborada por los autores.

Acrisoles (26.40 %)). La cobertura es principalmente boscosa y ocupa el 85.5 % del área; 8670 ha corresponden a vegetación primaria, con especial relevancia en los sectores norte, noroeste y suroeste. Del total de bosques, el 40.9 % (7840 ha) muestra alto grado de perturbación y el 30.9 % está dominado por bosques secundarios con el predominio de especies arbustivas. Los pastizales inducidos cubren el 9.8 % del área total; la agricultura de temporal el 2.7 %; los cultivos permanentes el 1.50 %; y los asentamientos humanos el 0.5 %, con 27 poblaciones y 2789 habitantes (Ramón y Bollo, 2023).

METODOLOGIA

Unidad de análisis: el paisaje antroponatural

El estudio adopta el paisaje antroponatural bajo el enfoque geocológico como unidad fundamental de análisis. El territorio del ANP no constituye un mosaico de elementos naturales aislados, sino una estructura integrada donde la ecología se vincula intrínsecamente a patrones históricos de ocupación humana (Mateo, 2011). Se define al paisaje antroponatural como un sistema con límites físicos precisos, compuesto por elementos naturales y antrópicos, donde las propiedades originales exhiben modificaciones por la acción del hombre (Martínez y Bollo, 2023).

Para la operatividad del análisis, se mantiene el criterio de clasificación tipológica de los paisajes según el estado de la cobertura y uso del suelo al año 2021 de Ramón *et al.* (2024). Dicha clasificación distingue 24 comarcas que se repiten espacialmente en 136 polígonos de paisajes antroponaturales. Cada polígono representa una unidad territorial homogénea en características físico-geográficas y fisonomía de uso. El uso de los polígonos de paisajes antroponaturales asegura que la evaluación del conflicto responda a la heterogeneidad sistémica del territorio en lugar de imponer criterios uniformes.

Línea base para el análisis: potencial de uso de los paisajes antroponaturales

El punto de partida para el estudio fue entonces la evaluación del potencial de uso primario y secundario del paisaje del ANP (Figura 2). El potencial de

uso primario y secundario fue calculado a partir del análisis de la compatibilidad jurídica, y viabilidad ambiental, socioeconómica y técnico-financiera de cada uso presente en el territorio (conservación, turismo de naturaleza, aprovechamiento de los recursos forestales no maderables, ganadería extensiva, agricultura de temporal y restauración), para cada polígono de paisaje. Los resultados señalaron que el 59.3 % de la superficie del ANP posee potencial de uso primario para la conservación, el 38.3 % para la restauración y el 2.5 % para usos agropecuarios (ganadería extensiva y agricultura de temporal). Además, el 24 % del área presenta potencial de uso secundario para el aprovechamiento de los recursos forestales no madereros y el 10.2 % para el turismo alternativo en los paisajes con mayores valores escénicos.

Así, los potenciales obtenidos funcionan como escenario de referencia o “el cómo debe ser el uso del paisaje” para establecer la compatibilidad con las funciones o usos asignados vigentes y sus coberturas.

Modelo cuantitativo para la evaluación de los conflictos de uso del suelo

Para cuantificar los desacuerdos entre el uso actual y el potencial de uso del suelo en las unidades de paisaje, se formuló un modelo cuantitativo de ponderación por coberturas y tipo de uso del suelo, con ajuste a las condiciones específicas del ANP y con base en los marcos conceptuales de conflictos ambientales propuestos por INE/SEMARNAT (2006) (Tabla 1). El modelo estima el nivel de conflicto de uso de suelo en cada polígono de paisaje mediante la integración de tres componentes: 1) la estructura de las coberturas, 2) el tipo de uso actual, y 3) el potencial de uso del suelo que se definió.

El modelo de conflictos de uso asume, a partir de lo planteado por Bryan (2013), que en contextos de conservación la pérdida de coberturas naturales primarias y su sustitución por usos agropecuarios intensivos elevan el conflicto frente a los objetivos de conservación y aprovechamiento sostenible.

El modelo opera sobre siete variables cuantitativas expresadas como porcentaje de superficie en el polígono (P_i): bosques primarios, bosque

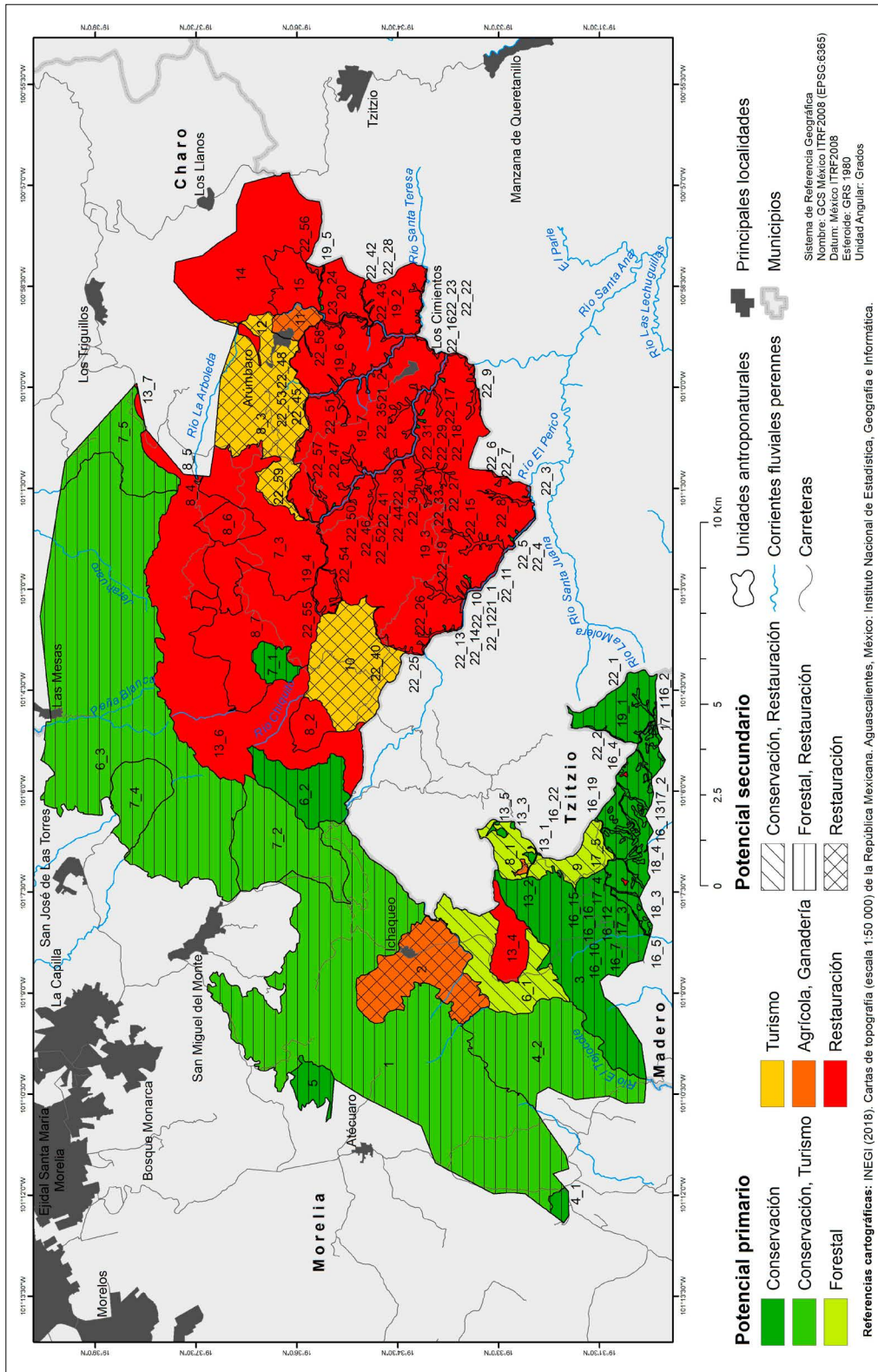


Figura 2. Potencial primario y secundario de los paisajes 2021 “Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera”. Fuente: Ramón *et al.* (2024).

Tabla 1. Propuesta de clasificación de los conflictos de uso en los paisajes.

Nivel de conflicto	Descripción
Sin conflicto	El uso actual corresponde plenamente con el potencial identificado. El paisaje conserva su estructura ecológica original y mantiene íntegra su funcionalidad, sin signos de degradación.
Muy bajo	El uso vigente es compatible con uno de los potenciales del paisaje, aunque no representa la opción ecológicamente más favorable. La funcionalidad del paisaje se mantiene estable y la degradación es prácticamente nula.
Bajo	El uso actual difiere del uso óptimo, pero se mantiene dentro de márgenes aceptables. La degradación del paisaje es leve y no compromete su funcionalidad general.
Moderado	El uso en curso no coincide con los usos potenciales identificados. Se presentan procesos incipientes de degradación que comienzan a afectar la funcionalidad del paisaje.
Alto	El uso actual del suelo resulta incompatible con el potencial del paisaje. La degradación es evidente y provoca una pérdida considerable de funcionalidad ecológica y productiva.
Muy Alto	El uso actual genera una fuerte incompatibilidad con el potencial previsto. La degradación del paisaje alcanza niveles severos, lo que conlleva pérdida crítica de funcionalidad ecológica, fragmentación del territorio y reducción de su capacidad de resiliencia.

Fuente: elaborado a partir de INE/SEMARNAT (2006).

secundario con predominio de arbustos, bosque secundario con predominio de herbáceas, pastizales inducidos, agricultura de temporal, cultivos permanentes y asentamientos humanos.

A cada variable se le asigna un coeficiente de ponderación (w) que se determina mediante un enfoque heurístico basado en literatura y criterio experto. Se penalizan con valores positivos (+) las coberturas antrópicas que degradan el paisaje y se bonifican con valores negativos (-) las coberturas que mantienen la funcionalidad ecológica (Tabla 2).

Tabla 2. Peso otorgado a las variables.

Uso actual	Penalización
Bosques primarios (BP)	-1.5
Bosque secundario con predominio de arbustos (BSPA)	+1.0
Bosque secundario con predominio de herbáceas (BSPH)	+1.5
Pastizales inducidos (PI)	+2.0
Agricultura de temporal (AT)	+2.0
Cultivos permanentes (CP)	+2.0 +20*
Asentamientos humanos (AH)	+2.0

*Penalización adicional cuando CP > 30 %.

Formalización matemática de los esquemas de evaluación

A diferencia de modelos estáticos, el algoritmo selecciona el esquema de cálculo según el potencial primario (P_p) del polígono:

Esquema A: potencial de conservación y turismo

Para unidades donde el P_p corresponde a Conservación, Turismo de Naturaleza o Aprovechamiento Forestal No Maderable, el índice se calcula mediante la sumatoria lineal ponderada:

$$CU_i = \sum_{j=1}^n (A_{ij} * w_j) + P_{cp}$$

Donde:

CU_i =Valor numérico del conflicto de uso para el polígono i

A_{ij} =Porcentaje de área de la cobertura j

w_j =Coeficiente de peso (véase Tabla 2)

P_{cp} =Factor de penalización por intensidad (+20) aplicable estrictamente si la cobertura de Cultivos Permanentes (CP) supera el 30 % de la superficie

Con la ecuación se obtiene un índice numérico para cada polígono de paisaje. Los valores negativos se asocian con bajos niveles de conflicto y los positivos con situaciones críticas de uso incompatible.

$$CU = \left\{ \begin{array}{l} -40, \text{ si } \Sigma(BP, BSPA, BSPH, PI) > 30\% \\ -20, \text{ si } PI > 30\% \\ -10, \text{ si } AT > 30\% \\ +20, \text{ si } CP > 30\% \\ 0, \text{ en cualquier otro caso} \end{array} \right\}$$

Esquema B: potenciales para agricultura de temporal y la ganadería extensiva

Conjunto productivo extensivo de usos primarios, el esquema define umbrales de compatibilidad que preservan la funcionalidad edáfica y controlan la erosión. Se diseñó una clasificación por reglas condicionales que valora la compatibilidad entre las coberturas y el potencial de uso. Se asumió que, si la superficie de las coberturas boscosas y pastizales inducidos suman más del 30 % en la unidad de paisaje, se trata de una condición favorable para evitar la erosión y conservar la funcionalidad productiva, por tanto, se asigna un conflicto nulo (-40). Cuando predominan pastizales (> 30 %), se considera conflicto muy bajo (-20). Para la agricultura de temporal, el conflicto se considera bajo (-10). En cambio, si los cultivos permanentes superan el 30 %, el conflicto se eleva a moderado (+20). En ausencia del predominio de un tipo de uso, el *CU* es neutro (0):

Esquema C: potencial para la restauración

Conjunto orientado a la recuperación, el esquema valora combinaciones que favorecen la transición hacia coberturas boscosas, también se clasifica por reglas condicionales que valoran la compatibilidad entre la cobertura y el uso potencial de uso. Se identificaron combinaciones según el predominio de bosques secundarios arbustivos (BSPA), la presencia variable de bosques primarios (BP) y secundarios con predominio de herbáceas (BSPH) y el porcentaje de representatividad de los tipos de usos del suelo (pastizales inducidos, agricultura de temporal, cultivos permanentes y asentamientos humanos).

- Si BSPA > 50 % y BP, BSPH y tipos de usos del suelo < 30 % = conflicto bajo (-10)
- Si BSPA ≥ 30 % y BSPH ≥ 30 % y tipos de usos del suelo < 30 % = conflicto moderado (+10)
- Si BSPH > 50 % o tipos de usos del suelo ≥ 30 % = conflicto alto (+30)

- Si tipos de usos del suelo < 50 % = conflicto muy alto (+50)

Cuando no se cumple ninguna de estas condiciones, se aplica la fórmula ponderada moderada

$$CU^{(i)} = (-0.5*BP^{(i)})+(1.0*BSPA^{(i)})+(1.2*BSPH^{(i)})+(2.0*(PI^{(i)}+CP^{(i)}+AT^{(i)}+AH^{(i)})$$

En los tres esquemas de evaluación por potencial de uso se asignaron valores negativos a las coberturas naturales (BP) y valores positivos a las coberturas degradadas y usos agropecuarios, porque esta asignación permite que el *CU* final represente correctamente el gradiente de incompatibilidad de uso. Los valores negativos no implican una connotación desfavorable, sino que indican un bajo conflicto; contrariamente, los valores positivos aumentan a medida que se acumulan los usos del suelo, lo cual señala un incremento en el nivel de conflicto.

Validación estadística y análisis de sensibilidad

Para traducir el índice numérico continuo (CU_i) a categorías ordinales, el estudio aplicó el método de Cortes Naturales de Jenks (*Jenks Natural Breaks*). El algoritmo minimiza la varianza intraclase y maximiza la varianza interclase, con umbrales consistentes con la distribución de frecuencias del índice y con la construcción de los rangos de la Tabla 3.

El análisis de sensibilidad evaluó la respuesta del modelo ante incertidumbre en los coeficientes de ponderación (w). El procedimiento definió un escenario base con el vector w original y un escenario perturbado con variación simultánea de ± 10 % en todos los pesos, mediante $w_j^i = w_j(1+\delta)$ $\delta \in \{-0.10, +0.10\}$. El cálculo del índice *CU* se efectuó para los 136 polígonos en cada escenario.

La consistencia del índice continuo entre escenarios se cuantificó mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson (r) entre los vectores CU_i y $\{CU_i^*\}$, con contraste de significancia estadística a $\alpha=0.01$. La evaluación de estabilidad categórica utilizó una reclasificación del *CU* perturbado con los mismos umbrales de la Tabla 3, con el fin de aislar el efecto de (w) sobre el resultado ordinal. La estabilidad se expresó como proporción de polígonos con

Tabla 3. Nivel de conflictos de uso en los paisajes.

Nivel de conflicto	Área (ha)	Cantidad de polígonos de paisajes
Sin conflicto (< 59.00)	5,053.84	32
Conflicto muy bajo (-58.99 - -19.00)	5,942.12	12
Conflicto bajo (-18.99 - -0.01)	1,363.46	34
Conflicto moderado (0.00 - 51.00)	2,217.51	5
Conflicto alto (51.00 - 99.00)	4,820.83	49
Conflicto muy alto (> 99.01)	3,002.81	4
Total	22,400.57	136

Fuente: elaborada por el autor.

categoría idéntica entre escenario base y escenario perturbado; el diagnóstico de discrepancias utilizó una matriz de transición entre clases y verificación de contigüidad de cambios ($|\Delta\text{clase}|=1$).

RESULTADOS

Según los resultados obtenidos al aplicar los tres esquemas de evaluación, se establecieron seis rangos para el índice de conflicto. El CU calculado osciló entre un valor mínimo de -150 (máxima compatibilidad) y un máximo de +149 (máxima incompatibilidad), con una distribución no normal sesgada hacia los valores negativos. Para definir los umbrales de la Tabla 3, se aplicó el algoritmo de Cortes Naturales de Jenks, el cual identificó las rupturas estadísticas inherentes a la distribución de frecuencias de los datos.

La segmentación matemática corroboró la validez de los rangos observados empíricamente en campo: los valores inferiores a -59 se agrupan estadísticamente en el primer corte natural (Sin Conflicto), mientras que la ruptura en el valor 99 aísla efectivamente las situaciones críticas de incompatibilidad severa. Los rangos intermedios,

definidos por la varianza interna de los datos, capturan la tendencia gradual de pérdida de cobertura forestal y el incremento progresivo en la intensidad del conflicto de uso.

La Tabla 3 presenta la clasificación de los conflictos según área y número de polígonos en cada nivel de conflicto, y la Figura 3 muestra la distribución espacial de las categorías asignadas.

Los paisajes sin conflictos representan el 22.56 % del ANP y se localizan al norte (7_4), oeste (1 y 5) y suroeste del territorio (4_1, 4_2 y polígonos de las comarcas f-g 16, 17 y 18). Son paisajes en los que predomina la cobertura boscosa primaria, y muy baja presencia de bosques secundarios con predominio de arbustos; su potencial de uso primario se orienta a la conservación y el turismo, y el secundario al aprovechamiento de RFNM y a la restauración con la finalidad de recuperar los bosques secundarios.

Los paisajes con conflictos muy bajos ocupan el 26.53 % del ANP, lo conforman polígonos al norte (6_3 y 7_5), centro (6_2 y 7_2), suroeste (3, 9 y 17_4) y oeste (11). Son fundamentalmente paisajes en los que predominan los bosques primarios, con presencia de bosques secundarios y parcelas dedicadas a la agricultura de temporal y los pastizales inducidos. El potencial de uso primario es la conservación, y el secundario el aprovechamiento de los RFNM y la restauración de los bosques degradados. Dentro de esta categoría el polígono 11 constituye la excepción, predominan las coberturas herbáceas y los pastizales inducidos; pero su conflicto de uso es muy bajo, porque el potencial de uso primario es de agricultura de temporal y ganadería extensiva y el secundario de restauración de la cobertura boscosa.

Los paisajes con conflicto bajo son los menos representativos del territorio (6.09 %), se localizan al oeste (2), suroeste (6_1 y 19_1) y centro (7_1) del ANP. Son paisajes con potenciales y condiciones diferentes, las unidades 7_1 y 19_1 conservan importantes relictos de bosques primarios y en menor proporción espacios dedicados a los pastizales inducidos y áreas de bosques secundarios arbustivos, su potencial de uso se orienta a la conservación y el secundario al aprovechamiento de los recursos forestales no madereros y la restauración, por lo

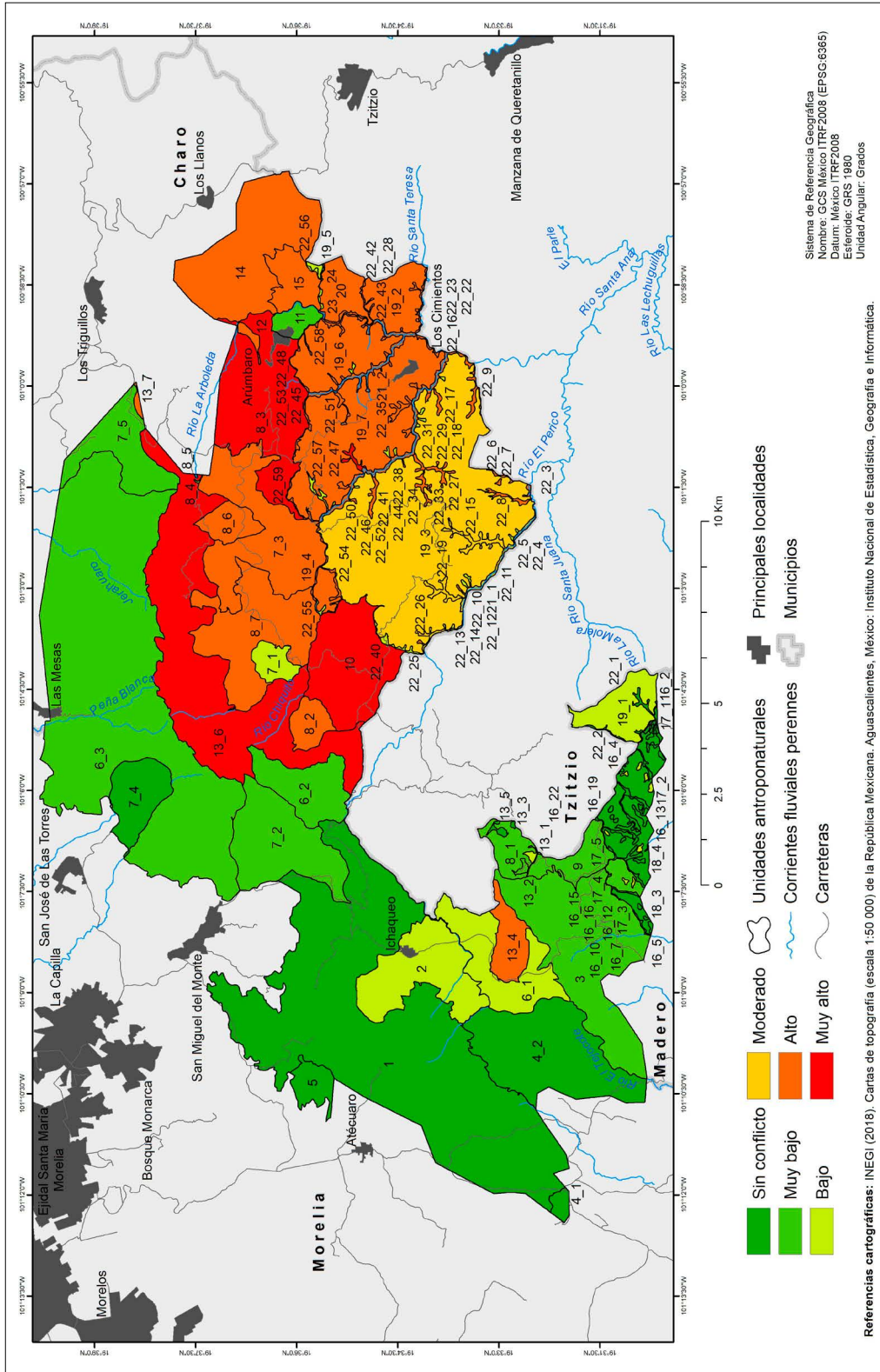


Figura 3. Niveles de conflictos de uso en el año 2021 Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera. Fuente: elaborado por los autores.

que presenta un nivel de conflicto bajo. La unidad de paisaje 6_1 tiene como potencial primario el aprovechamiento de los RFNM por la presencia de población residente en el asentamiento Pueblo Viejo y de importantes relictos de bosques primarios en el 57 % del polígono, el conflicto de uso es por la presencia de espacios dedicados a la agricultura de temporal, cultivos permanentes y pastizales inducidos. En el polígono 2, con potencial de uso para la agricultura de temporal y la ganadería extensiva, los conflictos bajos se derivan de la ausencia de medidas de conservación del suelo y la presencia y expansión de los cultivos permanentes (aguacate).

Los paisajes con conflictos moderados representan el 9.90 % del territorio, se localizan en el sureste, el polígono más representativo es 19_3, con el 96.57 % de la categoría; los restantes son valles fluviales situados al interior del polígono 19_3. Son paisajes en los que predominan las coberturas boscosas secundarias y los pastizales inducidos con potencial de uso exclusivamente para la restauración.

Los conflictos de uso altos ocupan el 21.52 % de la superficie de los polígonos de paisajes, se localizan al suroeste (13_4), centro (7_3, 8_2, 8_6, 8_7 y 19_4), este (12, 14, 15, 20 y 24) y suroeste (19_2, 19_6 y 19_7). Los polígonos ubicados al sureste y centro conservan relictos de bosques primarios en menos del 30 % de su superficie, pero se presentan grandes espacios con bosques secundarios herbáceos, pastizales inducidos y cultivos permanentes. Los polígonos ubicados al este se caracterizan por el abandono de actividades agrícolas y la conversión por sucesión natural de estos espacios a pastizales inducidos, y en los polígonos del sureste ocurre el remplazo de la vegetación boscosa secundaria por pastizales inducidos y áreas agrícolas. El potencial de estos polígonos es únicamente para la restauración.

Los conflictos de uso muy alto ocupan el 13.41 % del territorio, lo conforman polígonos al centro (10 y 13_6) y este (8_3). Son unidades en los que predominan los usos agropecuarios pese a condiciones físico-geográficas desfavorables para estos tipos de uso, lo cual genera fuertes conflictos de usos con el potencial previsto. En los polígonos 8_3 y 10 el potencial corresponde al turismo de naturaleza en la variante rural, debido a la presencia

de importantes asentamientos, como Tumbisca, con tradición en la producción artesanal de mezcal y festividades tradicionales locales; en cambio, el 13_6 tiene potencial exclusivo para la restauración.

Los conflictos de uso muestran un predominio de las categorías bajas y sin conflictos (55.17 %), al norte, oeste y suroeste, en paisajes donde prevalecen grandes extensiones de bosques primarios y secundarios con predominio de arbustos y una baja proporción de espacios dedicados a las actividades agropecuarias. Los mayores conflictos (34.93 %) se encuentran en el centro, este y sureste a partir de la transformación histórica de las coberturas naturales hacia bosques secundarios con el predominio de herbáceas y usos productivos en paisajes con bajo potencial para estas actividades.

Los resultados del estudio reflejan un panorama de presiones territoriales significativas dentro de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera, con el 34.93 % de la superficie del territorio con conflictos de usos de altos a muy altos. El hallazgo es consistente con las tendencias observadas en otras ANP de México y Latinoamérica, donde la expansión de la frontera agropecuaria y la degradación de los ecosistemas forestales constituyen las principales amenazas a la integridad ecológica (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; Jones *et al.*, 2018).

La distribución espacial de los conflictos es particularmente reveladora: las zonas con bajo o nulo conflicto (55.17 %) se concentran en las áreas de mayor altitud y cobertura forestal primaria al norte, oeste y suroeste, mientras que los conflictos más severos se localizan en el centro, este y sureste, en coincidencia con una historia de transformación hacia paisajes dominados por vegetación secundaria, pastizales y agricultura en la parte de menor altitud del ANP.

La aplicación del modelo cuantitativo de ponderación por coberturas y tipo de uso del suelo permitió desentrañar la naturaleza de los conflictos observados en el ANP. Por ejemplo, los paisajes con conflictos muy altos en el centro y este del ANP, no solo presentan un predominio de usos agropecuarios, sino que lo hacen en zonas identificadas con un potencial turístico y de conservación, lo que genera una clara incompatibilidad directa con la vocación del territorio.

De manera inversa, el modelo aplicado fue capaz de identificar situaciones de aparente bajo conflicto como en el polígono 11, donde a pesar del predominio de pastizales, el conflicto se clasificó como muy bajo, debido a que su potencial primario, es precisamente la ganadería extensiva y la agricultura de temporal. Lo que muestra la capacidad del modelo para interpretar el contexto y no solo la cobertura, un matiz fundamental para la gestión territorial.

Análisis de sensibilidad y estabilidad del modelo

La prueba de perturbación de parámetros confirmó la robustez estructural del índice propuesto. La Figura 4 presenta la distribución de frecuencias del Índice de Conflicto (CU) para los 136 polígonos evaluados y permite interpretar la estructura del índice antes de su segmentación por categorías. La distribución exhibe concentración en valores negativos (condiciones de alta compatibilidad) y un grupo menor de valores positivos asociados con incompatibilidades intensas; los límites operativos para interpretar el extremo inferior (sin conflicto/muy bajo) y el extremo superior (alto/muy alto) se señalan en la propia figura mediante líneas de referencia.

Con el propósito de evaluar la robustez del modelo ante incertidumbre en los parámetros, se ejecutó un análisis de sensibilidad mediante per-

turbación global de los coeficientes de ponderación (w). El procedimiento aplicó variaciones simultáneas de $\pm 10\%$ a todos los pesos y recalculó el CU en la totalidad de polígonos, manteniendo los mismos umbrales de clasificación empleados en la Tabla 3 para aislar el efecto de los parámetros. El resultado mostró 86% de estabilidad categórica, dado que 116 de 136 polígonos conservaron su nivel de conflicto original después de la perturbación.

Los cambios restantes (20 polígonos, 14%) se restringieron a unidades situadas en los márgenes de transición entre clases contiguas, con predominio de movimientos entre categorías de baja intensidad (p. ej., de “Muy bajo” a “Bajo”). Ningún polígono clasificado como “Conflicto alto” o “Conflicto muy alto” migró hacia categorías de “no conflicto”, lo que confirma estabilidad de los focos críticos. En conjunto, la evidencia respalda que la zonificación obtenida responde principalmente a la configuración de coberturas del paisaje y conserva consistencia bajo perturbaciones razonables de los pesos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de los conflictos de uso ha sido abordada en la literatura a través de diversas metodologías. Estudios en ANP adoptan enfoques

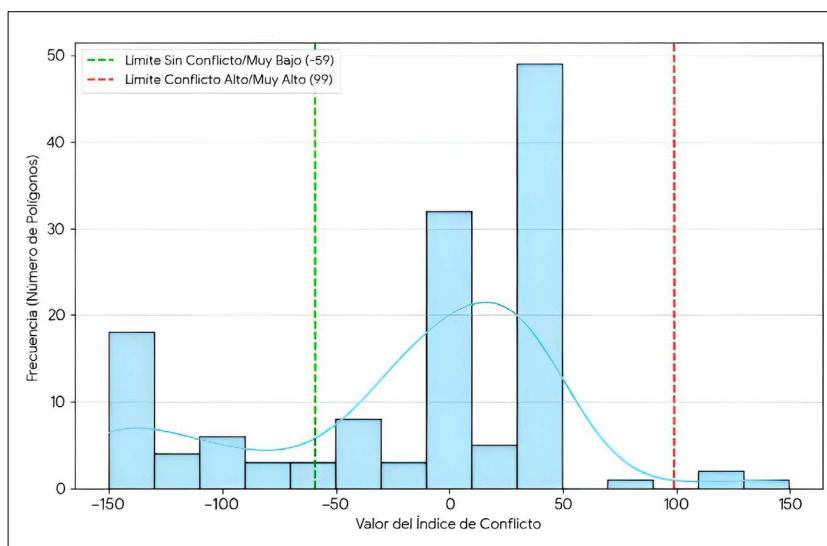


Figura 4. Distribución de frecuencias del Índice de Conflicto para 136 polígonos. Líneas de referencia: umbral inferior para “Sin conflicto/Muy bajo” y umbral superior para “Conflicto Alto/Muy alto”. Fuente: elaborado por los autores.

predominantemente socioambientales como los trabajos realizados por Ericson (2006) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, y López *et al.* (2017), en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, con talleres, entrevistas y análisis de percepción para identificar actores e intereses, que, si bien aportan un invaluable entendimiento de las dimensiones sociales, económicas y políticas de un conflicto, su capacidad para generar una evaluación espacialmente explícita y estandarizada a lo largo de grandes territorios es limitada.

Otros estudios se basan en métodos de superposición con SIG; cruzan mapas de usos actuales del suelo con mapas de zonificación normativa, por ejemplo, Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Son métodos que identifican un conflicto a partir de la no coincidencia espacial del uso del suelo observado con el uso del suelo dictado por la norma de aptitud biofísica del terreno; ejemplo aparecen en la estrategia LUCIS de Zwick y Carr (2007), en el trabajo de Ramón *et al.* (2011) en Cuba y en el de Chablé-Rodríguez *et al.* (2022). Si bien son útiles para una primera aproximación, resultan a menudo en una clasificación binaria (legal/ilegal, compatible/incompatible), sin capturar el gradiente de degradación o la intensidad del conflicto. Como resultado, un área levemente alterada puede ser clasificada bajo la misma categoría de conflicto que una zona completamente transformada, con la pérdida de matices cruciales para la priorización de acciones de manejo.

Han surgido también aproximaciones cuantitativas más sofisticadas, por ejemplo, matrices de impacto o modelos de evaluación multicriterio para ponderar la severidad del conflicto entre diferentes usos del suelo que compiten por un mismo espacio (Geneletti y van Duren, 2008). El Límite de cambio aceptable, que se utiliza para definir condiciones aceptables, comparar con la situación actual, seleccionar acciones de manejo y establecer un programa de monitoreo y evaluación, se presenta en trabajos realizados por Pavón *et al.* (2013) y Pavón *et al.* (2017).

Otros trabajos han utilizado métricas de la ecología del paisaje (índices de fragmentación y diversidad) como indicadores directos del conflicto ecológico derivado de la expansión urbana o agrícola.

Entre los que sobresalen los trabajos realizados por Latorre-Cárdenas *et al.* (2023) para cuantificar la fragmentación del bosque templando dentro de la franja del aguacate y de Vega-Vela *et al.* (2018), que aplica métricas de FRAGSTATS sobre series Landsat (1995–2016) para describir fragmentación por cambio de uso (principalmente ganadería) y proponen medidas de mitigación basadas en la configuración del paisaje.

Una propuesta más reciente de Cegielska *et al.* (2025), ofrece una lectura socioespacial valiosa para anticipar focos de conflictos bajo suburbanización. Integra variables de accesibilidad, proximidad a infraestructura y densificación para jerarquizar zonas propensas. No obstante, carece de una línea base de uso potencial por unidad territorial y no contrasta explícitamente el uso vigente con el potencial del territorio. Además, adopta una función única de riesgo, situación que puede conducir a sobreestimar o subestimar conflictos según el contexto.

En términos generales, algunos de los métodos antes señalados, ofrecen una evaluación numérica más sólida, pero en ocasiones aplican criterios uniformes a todo el territorio, sin diferenciar la evaluación según la vocación específicas de unidades de análisis. El empleo de unidades de paisajes resuelve esta limitación, porque definen unidades que estructuran el espacio y representan un tipo particular de sistema ambiental, en el que es posible establecer las transformaciones sociales y económicas que experimentan estos territorios a lo largo del tiempo (Espinoza y Bollo, 2015).

El modelo de evaluación de conflictos de uso aquí presentado ofrece varias ventajas metodológicas y aporta un avance significativo en el tema:

1. Especificidad contextual basada en el potencial de uso del territorio, la principal fortaleza del método es su estructura adaptativa. En lugar de aplicar una única fórmula, utiliza modelos diferentes que se activan según el potencial de uso previamente definido para cada polígono, lo que permite una evaluación mucho más precisa y realista, ya que un mismo uso del suelo, por ejemplo, pastizal inducido, es penalizado fuertemente en un área con potencial para la conservación, pero considerado

de bajo conflicto en un área con potencial ganadero.

2. Resolución gradual del conflicto, a diferencia de modelos binarios, se genera un índice numérico continuo que se traduce en la clasificación gradual de niveles de conflictos de uso que pueden readecuarse a los niveles de severidad en categorías ya establecidas como la de INE/SEMARNAT (2006) u otras que se definan. La escala resultante permite a los gestores en las ANP no solo identificar donde existen conflictos, sino también entender su intensidad. Esto es crucial para la priorización de intervenciones, distinguir entre áreas que requieren monitoreos (conflictos bajos), manejo activo (conflictos moderados) o acciones de restauración urgente (conflictos altos y muy altos).
3. Se fundamenta en una línea base validada, el modelo no parte de supuestos abstractos, sino que se ancla en una evaluación de potencial de uso del paisaje que ya fue producto de un riguroso análisis científico (Ramón *et al.*, 2024), lo que le confiere robustez y una justificación teórica de la que carecen muchos análisis de conflictos *ad hoc*.
4. La estructura del modelo, con sus ecuaciones algebraicas, reglas condicionales y ponderaciones explícitas, garantizan su transparencia y facilitan su replicabilidad. Esto permite que pueda ser adaptado a otras áreas con problemáticas o datos similares y su utilización para monitorear la evolución de los conflictos a lo largo del tiempo en los paisajes que la conforman.

El trabajo realizado no solo presenta un diagnóstico detallado de los conflictos de uso en un ANP de importancia para el estado de Michoacán (segunda en extensión de las áreas de importancia estatal), sino que también ofrece una herramienta metodológica robusta, sensible al contexto y espacialmente explícita. Los resultados constituyen un insumo directo para la toma de decisiones, al permitir focalizar los limitados recursos de gestión en aquellas zonas donde la divergencia entre el uso actual y el potencial del paisaje amenaza de forma más crítica la sostenibilidad en el ANP.

El mapa de conflictos resultantes es una herramienta estratégica fundamental para los tomadores de decisiones. Los paisajes con conflictos altos y muy altos deben ser objeto de acciones urgentes de regulación y restauración, mientras que las áreas sin conflicto y con conflicto bajo representan zonas prioritarias para la conservación preventiva y el monitoreo continuo.

Limitaciones y alcances del modelo

La construcción del índice incorpora una asignación explícita de coeficientes de ponderación (w), por lo que la parametrización conlleva un componente inevitable de juicio experto y, en consecuencia, una fuente potencial de subjetividad asociada a la literatura de referencia y al contexto de aplicación. La condición resulta inherente a los modelos multicriterio basados en pesos y no constituye un defecto metodológico, siempre que la asignación permanezca trazable y que el efecto de la incertidumbre paramétrica se evalúe de manera formal.

La incertidumbre vinculada a (w) no compromete la estructura del diagnóstico. El análisis de sensibilidad, sustentado en la perturbación simultánea de $\pm 10\%$ en los coeficientes, confirmó estabilidad categórica alta, con conservación de la clase de conflicto en 86% de los polígonos (116 de 136). Las variaciones se restringieron a unidades ubicadas en umbrales de transición entre categorías contiguas y no alteraron la delimitación de focos críticos de conflicto alto y muy alto. La evidencia respalda que la zonificación responde principalmente a la configuración de coberturas y usos del paisaje y no a una dependencia frágil de los pesos seleccionados.

El alcance espacial del modelo se define a escala de polígono de paisaje antroponatural, por lo que la interpretación resulta más sólida para decisiones de gestión territorial, priorización y gobernanza en unidades integradas que para diagnósticos de detalle a escala de parcela. En unidades pequeñas o altamente heterogéneas, procesos locales (por ej., microcambios de uso, infraestructura puntual o prácticas intraparceldarias) pueden no reflejarse con precisión equivalente. Por tanto, el índice se recomienda como herramienta de planeación a

escala de paisaje, complementaria a verificaciones de campo y análisis de mayor resolución cuando la toma de decisiones requiera intervención predial o microzonificación.

En conjunto, el modelo aporta una lectura cuantitativa y espacialmente explícita de la incompatibilidad entre uso vigente y potencial territorial, con estabilidad demostrada ante incertidumbre paramétrica. La interpretación a escala de paisaje permite jerarquizar áreas de intervención y orientar decisiones de manejo, restauración y gobernanza con criterios comparables entre unidades. El apartado de limitaciones acota el dominio de aplicación y establece el alcance operativo del índice como diagnóstico territorial, lo que habilita una transición coherente hacia las conclusiones sobre utilidad, robustez y pertinencia del enfoque en áreas naturales protegidas.

CONCLUSIONES

El modelo cuantitativo permitió identificar y representar espacialmente la intensidad de los conflictos de uso en la Zona de Protección Ambiental Pico Azul–La Escalera. El 34.93 % del territorio registró niveles de conflicto alto a muy alto, con concentración en los sectores centro, este y sureste, donde la sustitución histórica de coberturas naturales por usos productivos ocurre en unidades con baja aptitud para tales actividades. Las categorías sin conflicto y de baja intensidad predominaron en los sectores norte, oeste y suroeste, en correspondencia con paisajes con mayor conservación de coberturas forestales.

La contribución metodológica central reside en un modelo ponderado por tipo de cobertura y uso del suelo con evaluación contextual. La estructura por esquemas de vocación permitió valorar el uso vigente con base en el potencial primario y secundario definido para cada polígono, con mayor precisión analítica que un enfoque uniforme aplicado al conjunto del territorio.

La clasificación ordinal en seis niveles de intensidad superó el enfoque binario y fortaleció la capacidad diagnóstica del índice. La gradación distinguió condiciones de compatibilidad

plena (sin conflicto) de escenarios de incompatibilidad severa (muy alto), con utilidad directa para priorización territorial y jerarquización de intervención.

El análisis de sensibilidad por perturbación de parámetros confirmó estabilidad estructural del modelo. La variación simultánea de ± 10 % en los coeficientes de ponderación mantuvo la categoría original en 86 % de los polígonos (116 de 136) y restringió los cambios a transiciones entre clases contiguas, con predominio en límites de baja intensidad. No existió migración de polígonos de conflicto alto o muy alto hacia categorías de no conflicto. El resultado respalda consistencia estadística y reduce la probabilidad de sesgo inducido por la asignación de pesos.

La investigación sustenta un marco analítico en dos etapas: definición de potencial territorial y cuantificación del conflicto por contraste con el uso vigente. La cartografía resultante ofrece un insumo estratégico para gestión de ANP: los paisajes con conflicto alto y muy alto requieren medidas de regulación, restauración y control de presiones; las áreas sin conflicto o con conflicto muy bajo requieren conservación preventiva y seguimiento sistemático.

El estudio aporta un diagnóstico actual y una metodología transparente, replicable y apta para monitoreo periódico. La aplicación recurrente del índice permite evaluar tendencias, detectar incrementos de incompatibilidad y orientar gestión adaptativa. La estructura del modelo admite transferencia a otras áreas naturales protegidas con presiones antrópicas comparables, con ajuste de parámetros conforme a contexto normativo y biofísico local.

RECOMENDACIONES

El modelo cuantitativo de ponderación por coberturas y tipo de uso del suelo debe operar como línea base para un sistema de monitoreo y gestión adaptativa de la Zona de Protección Ambiental Pico Azul-La Escalera. La aplicación periódica del índice en intervalos definidos (por ejemplo, cada cinco años) permite evaluar cambios en la intensidad y distribución espacial del conflicto,

así como estimar el efecto de medidas de manejo, regulación y restauración mediante comparación temporal bajo criterios consistentes.

La gestión del ANP requiere, además, un componente de validación externa. La incorporación de puntos de control de campo georreferenciados, con criterios de observación replicables, fortalece la verificación del diagnóstico cartográfico en focos críticos y permite reportar métricas de desempeño (exactitud global, sensibilidad para conflicto alto y especificidad). La evidencia reduce incertidumbre interpretativa y mejora la trazabilidad técnica ante procesos de toma de decisiones.

La estructura espacial del conflicto admite integración con enfoques cualitativos orientados a gobernanza territorial. La triangulación entre el índice cuantitativo y técnicas de investigación social (entrevistas semiestructuradas, cartografía participativa, análisis de actores e incentivos) permite identificar causas, barreras institucionales y patrones de uso asociados a conflictos persistentes, con énfasis en unidades de paisaje con incompatibilidad alta y muy alta.

La transferencia metodológica a otras ANP requiere ajuste de parámetros conforme al marco normativo y al contexto biofísico local, con reporte explícito de pesos, umbrales y supuestos. La documentación completa del flujo de trabajo, junto con el análisis de sensibilidad, asegura replicabilidad y comparabilidad entre territorios.

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 la realización de esta investigación; así como a todas aquellas personas que 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.

REFERENCIAS

- Bousquet, M., Kuller, M., Lacroix, S. y Vanrolleghem, P. A. (2023). A critical review of multicriteria decision analysis practices in planning of urban green spaces and nature-based solutions. *Blue-Green Systems*, 5(2), 200–219. <https://doi.org/10.2166/bgs.2023.132>
- Bryan, B. A. (2013). Land-use change and ecosystem services. En S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity* (2ª ed., vol. 4, pp. 581–596). Academic Press.
- Cegielska, K., Różycka-Czas, R. y Olczak, B. (2025). Land use and land cover conflict risk assessment model: Social and spatial impact of suburbanisation. *Landscape and Urban Planning*, 257, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105302>
- Chablé-Rodríguez, G., González-Guillén, M. J., González-Martínez, T. M., Gómez-Guerrero, A., y Fernández-Reynoso, D. S. (2022). Conflicts and future scenarios of land use in eastern Mexico. *Forest Systems*, 31(3), e018-e018. <https://doi.org/10.5424/fs/2022313-18937>
- Chen, L., Lin, J., Wang, Q., Zhou, Y. y Zhang, T. (2024). Identification of land use conflicts and dynamic response analysis of Natural Protected Areas in rapidly urbanizing mountainous areas. *Ecological Indicators*, 161, 112009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112009>
- CONANP. (2020). *Sistema Permanente de Evaluación de la Efectividad del Manejo de las Áreas Protegidas de México (i-efectividad): Informe nacional*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_evaluacion/inf_regional/Informe%20Regional%20PBCyPN_junio2020.pdf
- Ericson, J. A. (2006). A participatory approach to conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 74(3-4), 242–266. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.006>
- Espinoza, A. y Bollo, M. (2015). La tipología de los paisajes antroponaturales como base para el ordenamiento ecológico territorial a diferentes escalas. En V. Sorani y M. Alquicira (Comps.), *Perspectivas del ordenamiento territorial ecológico en América y Europa* (pp. 155–195). Arlequín Editorial y Servicios.
- Figueroa, F., y Sánchez-Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(13), 3223–3240. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9423-3>
- Geneletti, D. y van Duren, I. (2008). Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 85(2), 97–110.

- <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.10.004>
 INE/SEMARNAT. (2006). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Jones, K. R., Venter, O., Fuller, R. A., Allan, J. R., Maxwell, S. L., Negret, P. J. y Watson, J. E. M. (2018). One-third of global protected land is under intense human pressure. *Science*, 360(6390), 788-791. <https://doi.org/10.1126/science.aap9565>
- Latorre-Cárdenas, M. C., González-Rodríguez, A., Godínez-Gómez, O., Arima, E. Y., Young, K. R., Denvir, A., García-Oliva, F. y Ghilardi, A. (2023). Estimating fragmentation and connectivity patterns of the temperate forest in an avocado-dominated landscape to propose conservation strategies. *Land*, 12(3), 631. <https://doi.org/10.3390/land12030631>
- Laurance, W. F., Sayer, J. y Cassman, K. G. (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(2), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Liu, Y., Tang, X., Wang, Y. y Chen, H. (2024). Decoding land use conflicts: Spatiotemporal analysis and constraint diagnosis from the perspectives of production-living-ecological functions. *Land*, 13(12), 2187. <https://doi.org/10.3390/land13122187>
- López Báez, W., Palacios-Herrera, B. G. y Reynoso Santos, R. (2017). Diagnóstico de los servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 21-34. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.80>
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Martínez, A. y Bollo, M. (2023). *El paisaje. Una mirada a través del análisis espacial*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://publicaciones.ciga.unam.mx/index.php/ec/catalog/book/104>
- Mateo, J. M. (2011). *Geografía de los paisajes. Primera parte. Paisajes naturales*. Editorial Universitaria.
- Pavón, R. G. S., Baca, C. A. G., Arcos, L. A. y García, B. A. Q. (2017). Capacidad de carga turística y aprovechamiento sustentable de Áreas Naturales Protegidas. *Ciencia ergo-sum*, 24(2), 164-172. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5317252>
- Pavón, R. G. S., Barquín, R. D. C. S., García, M. D. C. M., Jiménez, G. C. y Pérez, J. I. J. (2013). Estrategias de control de impactos turísticos en las áreas naturales protegidas y zonas arqueológicas de Quintana Roo, México. *CULTUR: Revista de Cultura e Turismo*, 7(3), 6-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6046443>
- Ramón, A. M., Troche-Souza, C., y Bollo, M. (2024). An integrated methodological approach for the balance between conservation and traditional use in a protected area: The case of the Pico Azul-La Escalera Environmental Protection Zone. *Cuadernos de Investigación Geográfica / Geographical Research Letters*, 50(2), 135-156. <http://doi.org/10.18172/cig.6289>
- Ramón, A., Salinas, E. y Acevedo, P. (2011). La determinación de los conflictos de uso del territorio: Cuenca Alta del Río Cauto. Cuba. *Terra*, 27(42), 47-71. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1012-70892011000200003yscript=sci_arttext
- Ramón, A. y 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. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.4>
- Vega-Vela, V., Muñoz-Robles, C. A., Rodríguez-Luna, E. y López-Acosta, J. C., y Serna-Lagunes, R. (2018). Analysis of landscape fragmentation in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(14), 227-238. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282018000200227yscript=sci_abstractylng=en
- Zwick, P.D. y Carr, M. H. (2007). *Smart Land-Use Analysis: The LUCIS Model*. ESRI Press.