

Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 16, Número 29, 2024, Sección I: Artículos. pp. 1- 14

FRAGMENTACIÓN EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES DEL PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE ZEMPOALA

Santiago Juan Medina Silva – Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo

Universidad Autónoma del Estado de México

santi040695@gmail.com

RESUMEN

La fragmentación forestal en Áreas Naturales protegidas en México es una problemática actual, por lo que la finalidad de la investigación es evaluar los niveles de fragmentación en los bosques del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, en el año 2022. El Área Natural Protegida presenta diversos impactos ambientales, derivados de los cambios de uso de suelo y las actividades antrópicas no reguladas dentro del área de estudio. Los procesos metodológicos realizados para la elaboración cartográfica se dividieron en tres etapas metodológicas: como primera etapa se agruparon los diferentes elementos ambientales destacando los bosques para estimar la superficie de cada ecosistema, mediante una clasificación supervisada; en la segunda etapa se realizó una validación de la cartografía. Finalmente, se estimó la fragmentación forestal con el objetivo de delimitar las zonas con menor densidad forestal. Los productos finales son tres mapas referentes a los bosques de oyamel, pino y mixto de pino-oyamel, en la cartografía se identificaron las zonas con los niveles altos de fragmentación forestal. En el apartado de resultados se describen los diferentes elementos ambientales identificados, además se realizó un análisis y se concluyó que los bosques de oyamel y de pino presentan niveles altos de fragmentación forestal en la zona noreste y centro del área de estudio, consecuencia de diversas variables antrópicas como cambios de uso de suelo y la ineficiente aplicación de la normativa ambiental en Áreas Naturales Protegidas. Los estudios referentes a la fragmentación forestal representan un esfuerzo importante en la contribución para la recuperación de los bosques en los Parques Nacionales ya que brindan diversos servicios ecosistémicos a la sociedad en general.

Palabras clave: Área Natural Protegida, Fragmentación forestal, Parque Nacional, Lagunas de Zempoala, Validación cartográfica.

ABSTRACT

Forest fragmentation in Protected Natural Areas in Mexico is a current problem, so the purpose of the research is to evaluate the levels of fragmentation in the forests of the Lagunas de Zempoala National Park, in 2022. The Protected Natural Area presents

various environmental impacts, derived from changes in land use and unregulated anthropic activities within the study area. The methodological processes carried out for the cartographic preparation were divided into three methodological stages: as a first stage, the different environmental elements were grouped, highlighting the forests to estimate the surface area of each ecosystem, through a supervised classification; in the second stage, a validation of the cartography was carried out. Finally, forest fragmentation was estimated with the aim of delimiting the areas with the lowest forest density. The final products are three maps referring to the fir, pine and mixed pine-fir forests; the areas with high levels of forest fragmentation were identified in the cartography. In the results section, the different environmental elements identified are described. In addition, an analysis was carried out and it was concluded that the fir and pine forests present high levels of forest fragmentation in the northeast and central areas of the study area, as a consequence of various anthropic variables such as changes in land use and the inefficient application of environmental regulations in Protected Natural Areas. The studies regarding forest fragmentation represent an important effort in contributing to the recovery of forests in National Parks since they provide various ecosystem services to society in general.

Keywords: Cartographic validation, forest fragmentation, Lagunas de Zempoala, National Park, Protected Natural Area.

INTRODUCCIÓN

La Teoría General de Sistemas (TGS) de Bertalanffy (1976), fundamenta la presente investigación, para entender las relaciones sociales con el medio natural dentro del área de estudio y como estas alteraciones afectan directamente a la producción de servicios ambientales a las localidades limitantes al Parque Nacional.

La TGS permite contextualizar parte de la realidad y, a través de sus principios, explica la integración de los elementos que conforman un sistema. En este caso, un Área Natural Protegida puede entenderse como un sistema abierto en el que sus componentes interactúan con factores externos (Leff, 2011).

Las Ciencias Ambientales, debido a su carácter interdisciplinario, facilitan el análisis de las problemáticas ambientales presentes en el Parque Nacional, estas problemáticas están estrechamente vinculadas con cuestiones sociales, como la falta de empleo en los municipios que integran el parque. Por ello, la solución a estos desafíos ambientales depende de una combinación de factores sociales, económicos y políticos.

En México existen nueve categorías de Áreas Naturales Protegidas propuestas por La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), dentro de estas categorías los Parques Nacionales cuentan las mayores restricciones en los usos de suelo para la conservación de los recursos naturales en estos espacios. En este sentido, el Área Natural Protegida Lagunas de Zempoala tiene como objetivo la conservación de los diferentes ecosistemas naturales que lo conforman, mediante la normativa ambiental del Plan de Manejo.

El Parque está dividido administrativamente por los municipios de Huitzilac y Ocuilan, su superficie abarca aproximadamente 4,790 hectáreas, de las cuales 3,965 (82.78%)

corresponden al Estado de México y 825 (17.22%) al Estado de Morelos (CONANP, 2008).

El Área Natural Protegida Lagunas de Zempoala enfrenta diversos desafíos ambientales referentes con la recuperación de los bosques, la masa forestal ha disminuido considerablemente debido a la falta de gobernanza en la zona. Además, los problemas sociales, como la inseguridad, impactan directamente en la protección de los bosques, favoreciendo el aumento de la tala clandestina dentro del área de estudio.

Diversas investigaciones han analizado la cuantificación de la superficie forestal en este Parque Nacional, pero ninguna ha considerado la densidad forestal en su análisis. Incorporar este enfoque representa una valiosa contribución para generar cartografía detallada del área de estudio. En este contexto, resulta fundamental identificar las áreas prioritarias de atención con base en análisis de la fragmentación presentes en los bosques del área de estudio.

La fragmentación de los bosques se debe a diversos factores, naturales y derivados de actividades humanas. En las Áreas Naturales Protegidas existen cambios en el uso del suelo generados como consecuencia de una regulación inadecuada de actividades como el turismo, la agricultura y la tala clandestina (ECCAP-CONANP, 2015).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es la institución ambiental gubernamental responsable de regular las actividades dentro del Parque Nacional. Sin embargo, las actividades turísticas no están adecuadamente controladas debido a la ausencia de accesos establecidos, por la extensión de la superficie del Parque Nacional. Esta falta de control facilita la tala clandestina en diversos sectores de la zona. Además, el parque carece de un plan de manejo actualizado que contemple los problemas ambientales actuales que enfrenta (CONANP, 2008).

Desde 2010, el Parque Nacional ha sido catalogado como una zona crítica de inseguridad debido a diversas problemáticas sociales y ambientales. Esta situación ha provocado una notable disminución del turismo en la región y ha dificultado la implementación efectiva de programas gubernamentales destinados a la recuperación de los bosques. Uno de los principales problemas actuales del Parque Nacional es la tala clandestina llevada a cabo por grupos organizados (Martínez *et al.*, 2010).

Los bosques son ecosistemas ambientales integrados por diversos tipos de árboles con características propias, su desarrollo depende de otros elementos del sistema, como el suelo, el clima y los microorganismos. Estos últimos, a su vez, constituyen ecosistemas más pequeños que contribuyen al equilibrio y funcionamiento del bosque (Kimmins, 1974).

La fragmentación forestal es la división de un bosque homogéneo en dos o más porciones (Ford *et al.*, 2001). En este sentido, Debinski y Holt, (2001). Mencionan que la deforestación de los bosques, es la etapa inicial de este proceso, como resultado rompe y aísla ecosistemas continuos de hábitat de flora y fauna a diferentes escalas.

Un ecosistema forestal fragmentado transforma su paisaje y su funcionamiento interno además de forzar la adaptación biológica de las especies que lo conforman (Cayuela, 2006).

Las investigaciones relacionadas con los cambios de uso de suelo mediante la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) son esenciales para el

análisis del impacto ambiental. Bajo este contexto, en el año 2016 se realizó un trabajo en la República de Costa Rica donde se cuantificó el cambio de uso del suelo a través de percepción remota, se identificó la disminución de la masa forestal en el periodo 2010-2015 (Duarte y Milla, 2016).

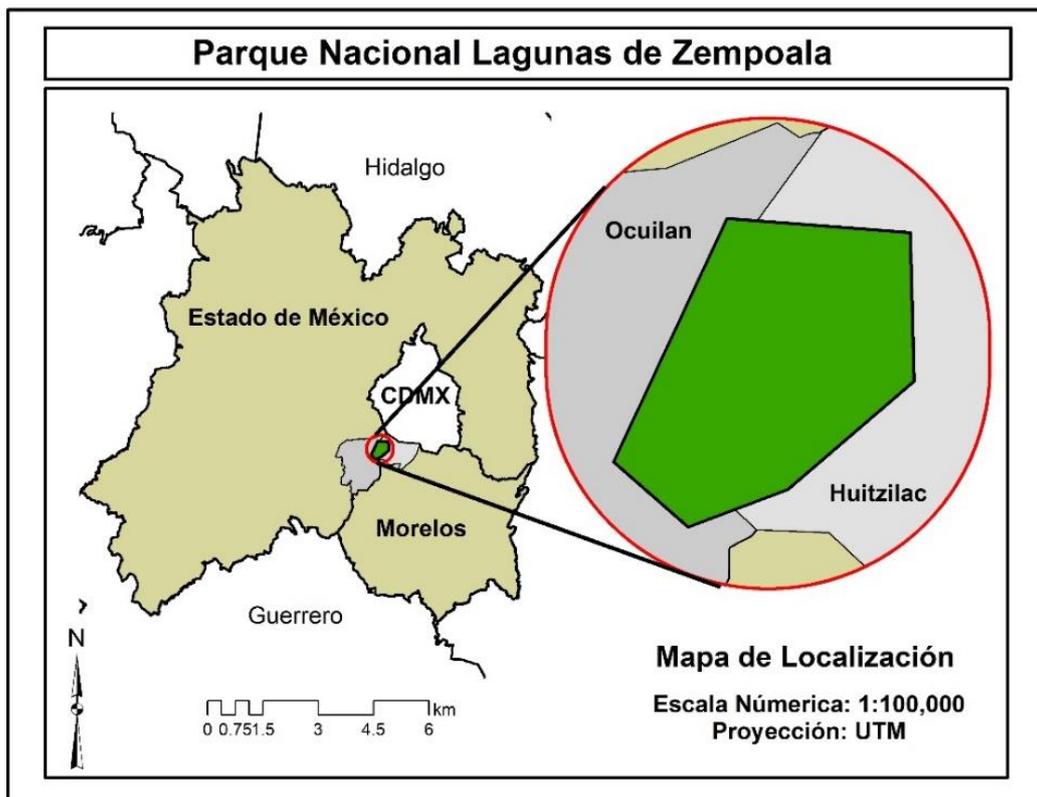
En el estado de Morelos, México, se estimó la pérdida de cobertura forestal para el año 2010 mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El objetivo de esta investigación fue identificar los ecosistemas que incrementaron su superficie con base a la cobertura vegetal (Escandón, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La zona de estudio es el Área Natural Protegida Lagunas de Zempoala se extiende por los municipios de Ocuilan, en el Estado de México, y Huitzilac, en el Estado de Morelos. La Figura 1 representa su ubicación geográfica y se identifica en el polígono en color verde.

Figura 1. Ubicación espacial de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2023 en el software ArcMap®, (2015)

Los principales insumos para la generación de la cartografía y posterior análisis fueron dos imágenes de satélite del sensor Spot 5 con fecha de 21 de febrero del año 2022, obtenida del servidor digital Earth Explorer del Servicio Geológico. Los procesos metodológicos aplicados se dividieron en tres fases las cuales se detallan posteriormente.

1.- Agrupación de elementos ambientales

Para la identificación de los elementos ambientales se tomaron en cuenta variables atmosféricas como la temporalidad de la nubosidad en la zona de estudio en la preparación de las imágenes de satélite (Rejas, 2008).

Es importante mencionar que la cartografía se realizó en el 2023 en el software ArcMap® 10.6.1, mediante los compuestos de falso color y color natural para una mejor visualización de los elementos a identificar.

Los puntos de entrenamiento se eligieron estratégicamente con base a recorridos en campo y registro con GPS, se digitalizó un total de 100 puntos por cada elemento ambiental (ecosistema) de acuerdo a Jensen (1996).

2.- Validación de la cartografía.

La clasificación de las imágenes satelitales se llevó a cabo utilizando el criterio de máxima probabilidad. Este método clasifica los píxeles de la imagen en función de su reflectancia, comparándolos con los valores registrados en los campos de entrenamiento, (Toro *et al.*, 2015).

La cartografía fue validada bajo estrictos parámetros metodológicos con el objetivo de reducir el margen de error en la visualización de los mapas y los límites de cada elemento ambiental identificado (Mas *et al.*, 2003).

En la digitalización de los campos de entrenamiento se utilizó como unidad el punto, empleando el mismo criterio para la validación. Se verificaron de manera aleatoria 100 puntos, tanto en campo como en gabinete, mediante el uso de herramientas de percepción remota (Camacho, 2015).

Para la evaluación de los campos de entrenamiento, se compararon los puntos verificados en campo con los correspondientes a los elementos ambientales registrados para el año 2022. Es importante destacar que, debido a las condiciones orográficas de la zona de estudio, algunos puntos fueron validados mediante imágenes satelitales, ya que el acceso físico resultaba complicado.

Se desarrollaron diversas matrices cruzadas para calcular el porcentaje de confiabilidad de los productos cartográficos, tomando en cuenta una confiabilidad al menos del 80% (Stehman y Czaplewski, 1998).

La corrección de los puntos de entrenamiento se realizó bajo los criterios establecidos por Card (1982), se normalizaron los datos correspondientes a los puntos de verificación en campo, en comparación con la superficie de elemento ambiental identificado (Mas y Couturier, 2011).

3.- Estimación de la fragmentación forestal

Para clasificar los niveles de fragmentación en los bosques del área de estudio se tomaron en cuenta diversas variables metodológicas como lo son tamaño medio de parche, índice de forma media y forma media del parche (Correa *et al.*, 2012).

Posterior a la identificación de las variables metodológicas antes mencionadas se procedió al procesamiento de una malla, clasificando los hexágonos que presentaban

algún tipo de bosque, posteriormente se realizó una interpolación con la malla hexagonal y una base de datos con la información procesada, para obtener los indicadores definidos por regiones.

Las regiones con valores similares se homogenizaron en cada región correspondiente y se aplicó una normalización a los resultados obtenidos para establecer categorías y tener una mayor visualización de los valores.

RESULTADOS

Análisis de los elementos ambientales

Las condiciones ambientales que conforman el área de estudio son diversas, las características climáticas propias de la zona favorecen el desarrollo de múltiples ecosistemas naturales dentro de los que destacan los bosques. A partir del análisis cartográfico se identificaron seis elementos ambientales presentes en la zona de estudio.

El bosque mixto de pino oyamel se caracteriza por que se desarrolla en altitudes de entre 2,000 a los 3,400 msnm, regularmente en climas húmedos, las características climáticas y físicas del área de estudio favorecen el desarrollo de este tipo de bosque.

Por otra parte, en la zona noreste centro y este del parque se identificaron áreas de bosque de oyamel, que comparte características ambientales de desarrollo similares al bosque anterior, sin embargo, este tipo de bosque se desarrolla a altitudes entre 2400 a los 3600 msnm, donde el clima es más frío.

El bosque de pino en el área de estudio se presenta en zonas donde la temperatura promedio oscila entre 5 °C y 12 °C y los rangos de precipitación anual y el nivel de precipitación está por encima de los 1,000 mm. Los pastizales referentes de la zona son pastizal subalpino, cabe mencionar que en este elemento ambiental se conforma de las áreas donde la vegetación arbórea, arbustiva y vegetal es mínima.

Por otra parte, la agricultura se refiere a los agroecosistemas desarrollados a partir de actividades económicas primarias; localmente como milpas con producción y aprovechamiento agropecuario.

Los cuerpos de agua se encuentran conformados por cuencas hidrológicas dentro del parque y lagunas de origen lacustre y endorreico con condiciones hidrológicas estáticas.

Análisis de los elementos ambientales en la zona de estudio

El área de estudio está conformada por seis diferentes ecosistemas para el año 2022 cuenta con una extensión de 4,555 hectáreas de acuerdo con el análisis cartográfico obtenido, de las cuales se distribuyen como se observa en la Tabla 2. El ecosistema forestal mixto de pino-oyamel está conformado de una superficie de 1,727 hectáreas equivalente al (37.9%), se distribuye espacialmente en las zonas norte y este del Parque Nacional.

Tabla 2. Distribución espacial de los ecosistemas.

No	Ecosistema	Superficie (ha)	(%)
1	Bosque mixto de pino-oyamel	1,727	37.9
2	Bosque de oyamel	1,681	36.9
3	Bosque de pino	881	19.3
4	Pastizales	164	3.6
5	Agricultura	93	2.0
6	Cuerpos de agua	9	0.2
	Total	4,555	100

Fuente: Elaboración propia, con base en INEGI (2023).

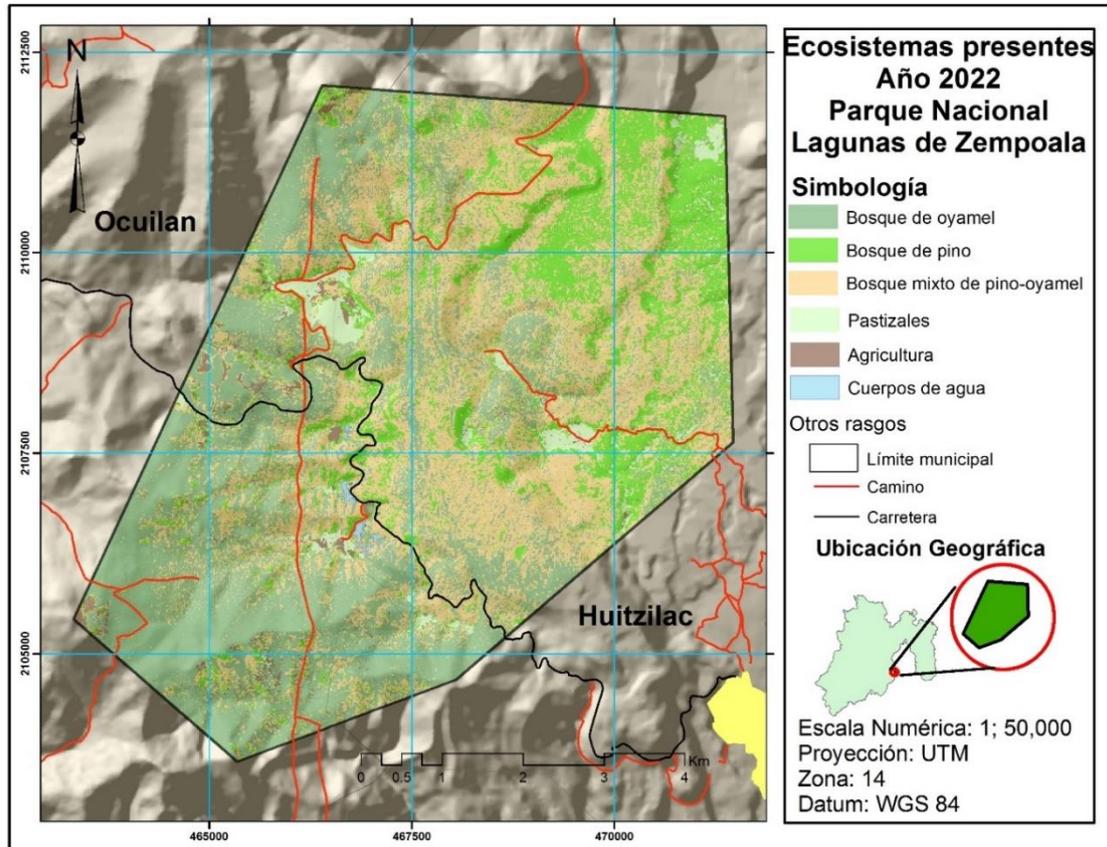
La distribución espacial del bosque de oyamel se ubica en la zona noreste del parque, donde las carreteras son uno de los factores principales que favorecen la tala clandestina. A partir del análisis cartográfico, se estimó que este tipo de bosque abarca 1,681 hectáreas, lo que representa el 36.9% del área.

El bosque de pino, por su parte, ocupa 881 hectáreas, equivalentes al 19.3%, y se distribuye en la zona norte del parque. Cabe destacar que esta área presenta las mayores pendientes, lo que actúa como una barrera natural que ayuda a proteger este tipo de bosque (Figura 2).

Los pastizales representan el 3,6% de la superficie total, lo que equivale a 164 hectáreas, son áreas con vegetación arbustiva poco densa, pero con suelos aptos para el desarrollo de bosques de tipo oyamel y pino.

Las áreas destinadas a la agricultura dentro del área de estudio abarcan 93 hectáreas, lo que equivale al 2% de la superficie total. Sin embargo, esta actividad no está permitida en el área de estudio, según lo estipulado en el decreto del parque. Su distribución espacial se concentra en la zona norte. Por otro lado, los cuerpos de agua representan el ecosistema con la menor superficie, la 9 hectárea corresponde a las lagunas y parte de las cuencas identificadas dentro del parque, lo que equivale al 0.2% del total de la superficie.

Figura 2. Distribución espacial de los elementos ambientales.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI en el software ArcMap®.

Validación de los mapas referentes a los elementos ambientales.

La validación de la cartografía con sitio en ratificar en campo los puntos de entrenamiento identificados que no corresponden al elemento ambiental asignado, para su posterior procesamiento y corrección. Los puntos analizados fueron un total de 100 puntos referentes a los ecosistemas identificados, del total de los 600 puntos analizados, 587 fueron clasificados correctamente, el resto presentó un polígono distinto a los valores asignados, lo que contribuyó al grado de error obtenido en la clasificación de los elementos.

Los resultados obtenidos a partir de la matriz de error, reflejaron 13 puntos de entrenamiento que no coinciden con las categorías del mapa. De acuerdo con el método de Card (1982), la cartografía presentó un grado de confiabilidad 96.5 % y 1.5% del intervalo de confianza de la confiabilidad global.

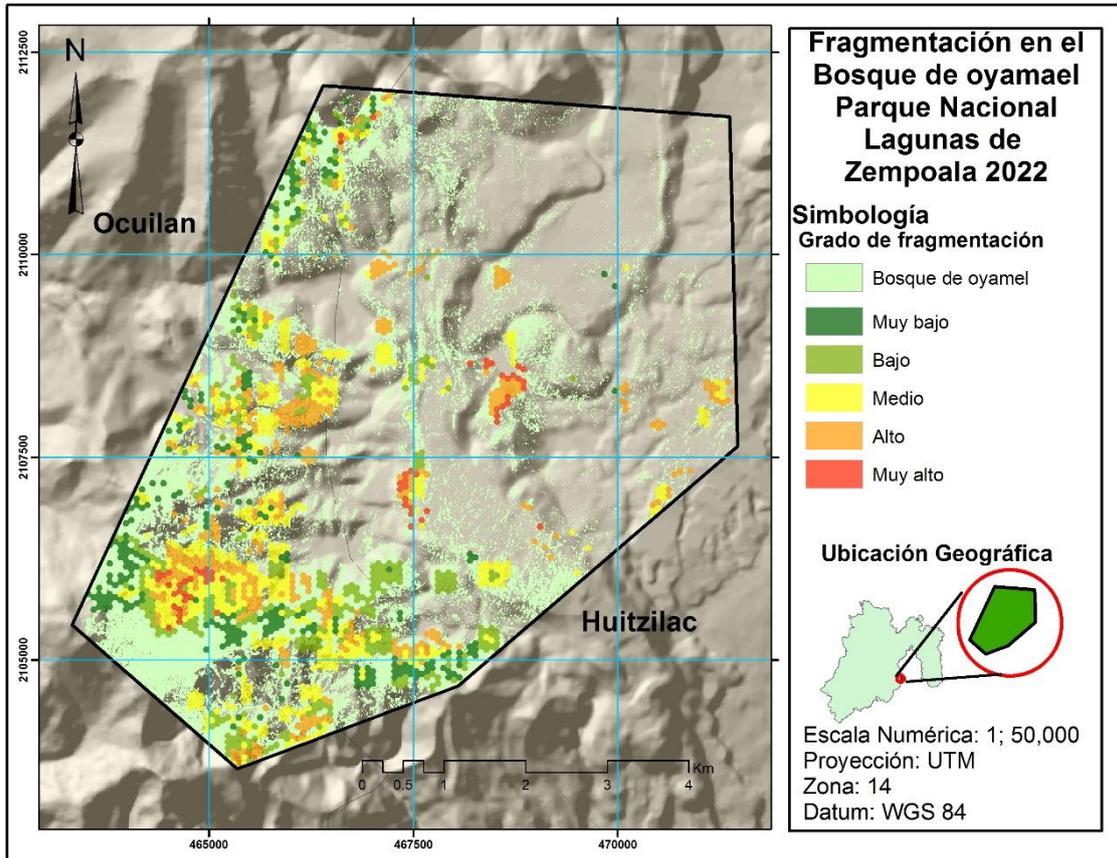
Análisis de la fragmentación forestal

El análisis final de la fragmentación en los diferentes tipos de bosque identificados en la cartografía para el año 2022 se realizó tomando en cuenta los indicadores propuestos por Correa et al., (2012).

El ecosistema forestal de oyamel muestra niveles significativos de fragmentación, con un total de 1,662 polígonos identificados en el análisis cartográfico. Esta fragmentación

implica una considerable pérdida de hábitat para la flora y fauna en la zona sur del parque, convirtiéndolo en uno de los ecosistemas más afectados ambientalmente. Un factor determinante de este impacto es la presencia de las principales vialidades que conectan los dos municipios del área de estudio. Además, esta zona concentra la mayor cantidad de actividades económicas relacionadas con el turismo (Figura 3).

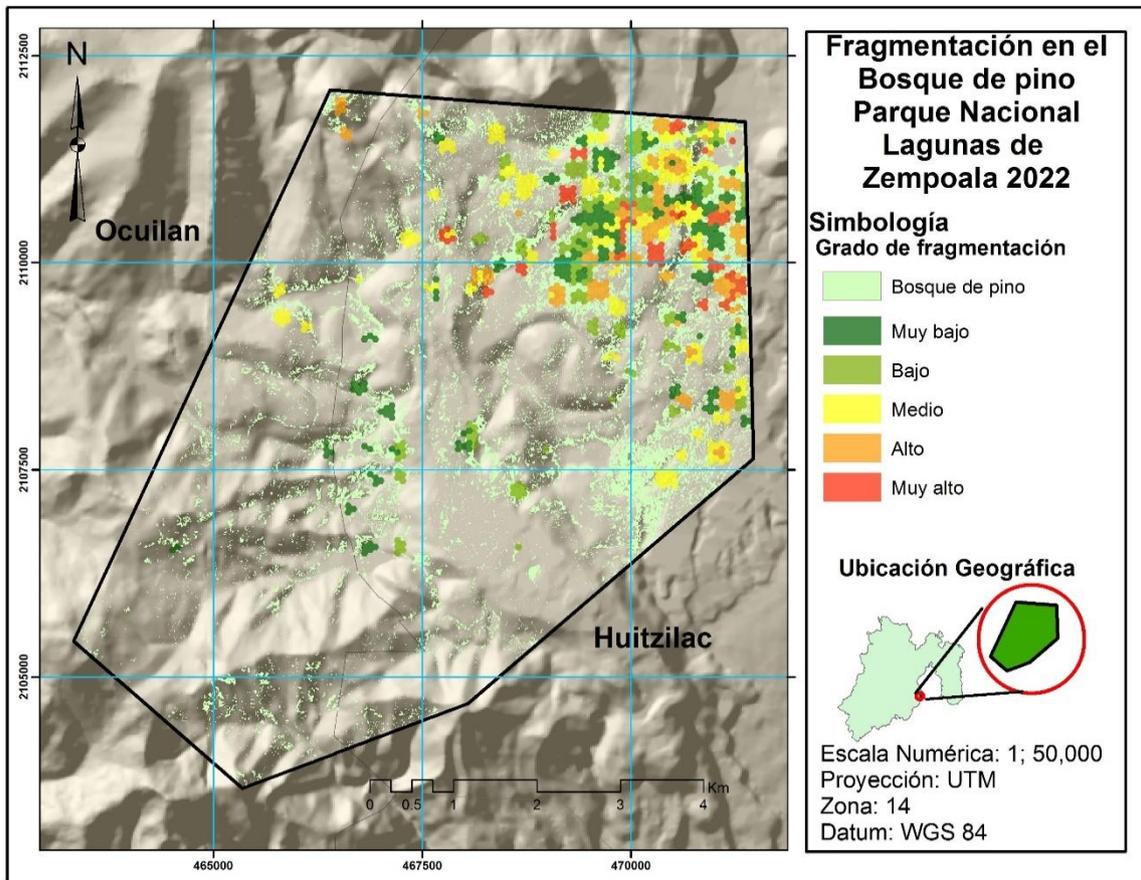
Figura 3. Fragmentación en el bosque de oyamel.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI en el software ArcMap®, (2023)

La fragmentación forestal en el bosque de pino se clasifica, en promedio, como de nivel bajo a medio. El análisis cartográfico identificó un total de 956 polígonos distribuidos en las siguientes categorías: muy bajo (215 polígonos), bajo (201 polígonos) y medio (259 polígonos). Los factores que favorecen la conservación de este tipo de bosque incluyen su ubicación en áreas con altitudes elevadas y pendientes pronunciadas, lo que dificulta la práctica de la tala clandestina. Asimismo, estas condiciones fisiográficas complican tanto las actividades agrícolas como otras actividades económicas, contribuyendo así a su mejor estado de conservación (Figura 4).

Figura 4. Fragmentación en el bosque de pino.

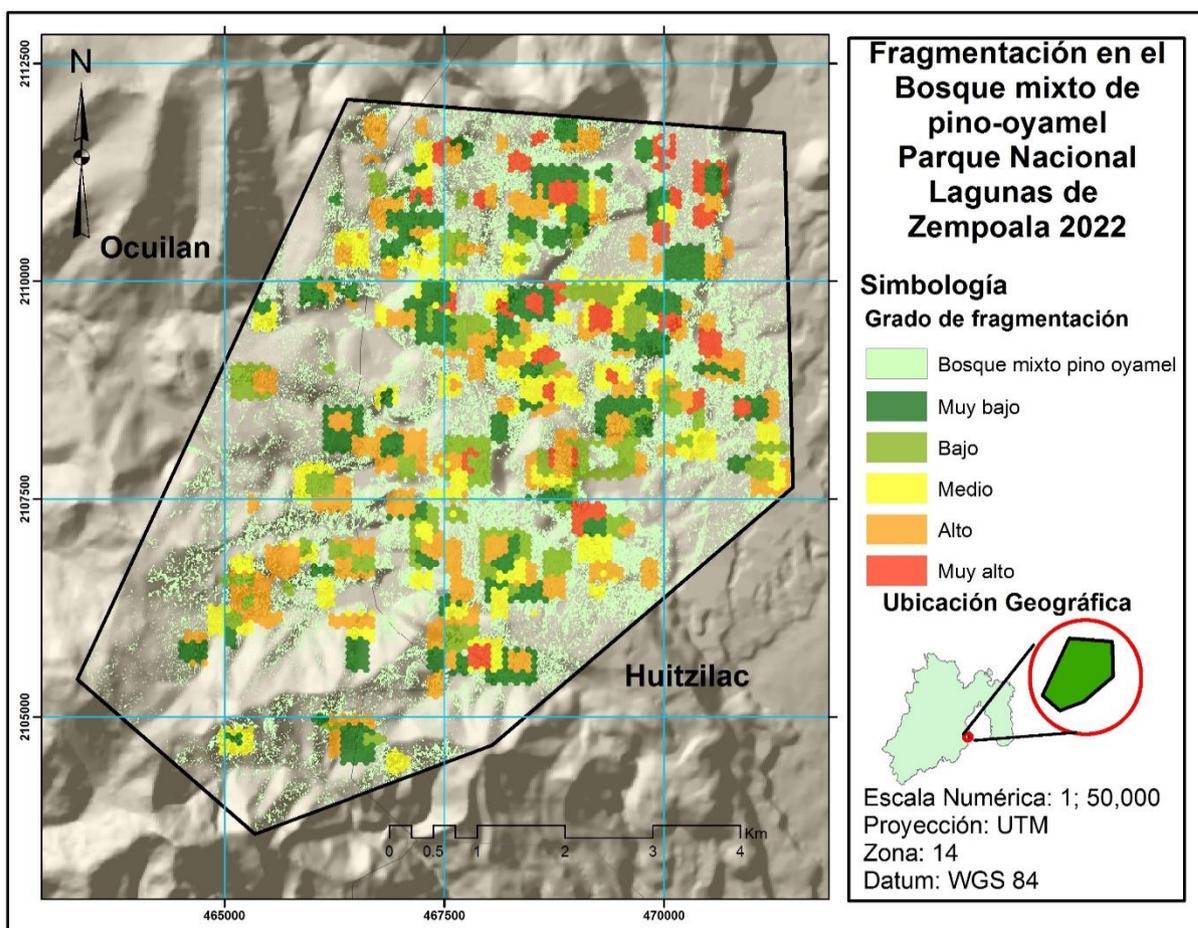


Fuente: Elaboración propia con base en INEGI en el software ArcMap®, (2023)

El análisis de la fragmentación forestal en el bosque mixto de pino-oyamel representó que es el ecosistema con los niveles más altos de impacto ambiental. Se identificaron un total de 3,062 polígonos, lo que representa la mayor cantidad de fragmentos entre los tres tipos de bosques analizados. Esta fragmentación se concentra principalmente en la zona central del área de estudio, donde también se encuentra una gran parte de los pastizales cuantificados.

Diversos factores contribuyen a la pérdida de masa forestal en esta región. Entre los más destacados se encuentran la concentración de actividades turísticas en esta área y los conflictos por la disputa de tierras entre comuneros y líderes ejidales, quienes buscan destinar el terreno a actividades económicas (Figura 5).

Figura 5. Fragmentación en el bosque mixto de pino-oyamel.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI en el software ArcMap®, (2023)

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados permitió identificar una significativa degradación de los ecosistemas forestales en el área de estudio, particularmente en las zonas centro y sur del parque. La deficiente administración y coordinación por parte de líderes ejidales y autoridades gubernamentales de ambos municipios ha contribuido al aumento de la pérdida de masa forestal en esta región del Parque Nacional.

Durante los recorridos de campo, se observó una limitada participación de la sociedad en el cuidado de estos espacios, en gran parte debido a la presencia de grupos criminales. Según el análisis cartográfico, el deterioro ambiental en el parque está asociado principalmente al desarrollo de actividades antrópicas, destacando la tala clandestina como el principal factor de deforestación (Medina et al., 2021).

Los productos cartográficos obtenidos reflejan el grado de deterioro que enfrenta actualmente un parque nacional en México. Diversos factores contribuyen al agravamiento de esta situación; sin embargo, esta investigación sienta las bases para futuros estudios enfocados en la mitigación de los problemas identificados.

La fragmentación en los bosques es un elemento clave en las investigaciones relacionadas con las transformaciones de los ecosistemas naturales, ya que permite identificar las zonas de impacto ambiental a una escala detallada, facilitando un análisis cercano a la realidad territorial. A partir de estos hallazgos, será posible desarrollar investigaciones posteriores orientadas a implementar actividades de manejo que minimicen los impactos negativos y promuevan la conservación de la cobertura forestal.

Además, el análisis de la fragmentación forestal permitió identificar las zonas con mayor fragmentación para cada tipo de bosque, evidenciando el nivel de detalle alcanzado en esta investigación. Sin embargo, es importante destacar que la cartografía puede mejorarse mediante el uso de otros elementos de validación cartográfica, lo que optimizaría futuros estudios relacionados.

BIBLIOGRAFÍA

Bertalanffy Von, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México.

Camacho, J. M., Juan, J. I., Pineda, N. B., Cadena, E. G., Bravo, L. C., Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*. 21(1), 93-112.

Card, H. D. (1982). Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 48(3), 431-439.

ECCAP-CONANP. (2015). Estrategia de Cambio Climático desde las Áreas Naturales: Protegidas: Una convocatoria para la resiliencia de México 2015-2020. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas* 15 (3): 192-198.

CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (2008). Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional Lagunas de Zempoala., México.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2018). Bosques templados de México. Obtenido el 5 marzo de 2022 de <https://www.conabio.gob.mx/bosqueTemplado>.

Congalton, R. G. (1988). A comparison of sampling scheme use in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(5), 593-600.

Debinski, D.M. y Holt, R.D. (2000). A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14(2): 342-355.

Emanuelli, P.; Duarte, E.; Milla, F. (2016). Análisis de cambios de la cobertura forestal y uso de la tierra mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial, periodo 2010 – 2015: Área de influencia del mecanismo socioambiental Diquis, República de Costa Rica, Ambiente y Recursos Naturales.

Escandón, J., Benjamín, j., Nieto, M y Ordóñez, M. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (46).

Ford, H. A., G. W. Barrett, D. A. Saunders y Recher, H. F. (2001). Why have birds in the woodlands of southern Australia declined. *Biological Conservation* 97:71-88.

Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia "otro" programa de sociología ambiental. *Revista Mexicana de Sociología*, 71 (1), 5-46.

Martínez, T., Angulo, C. y Olvera, G. (2010) Pérdida de la cobertura forestal en el ANP Lagunas de Zempoala, *Estudios Geográficos de Análisis Territorial y Ambiental*, 2-12.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). Obtenido el 14 mayo de 2022 de <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). Obtenido el 14 mayo de 2020 de <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (2a. ed.)*. NJ: Prentice – Hall. Upper Saddle River

Mas, J. F., Reyes, J., & Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (51), 53-72.

Kimmins, J. (1974). Sustained yield, timber mining, and the concept of ecological rotation: a British Columbian view. *For. Chron.* 50: 27-31.

Mas, J. F. y Couturier S. (2011). *Evaluación de Bases de Datos Cartográficas*. In F. Bautista (Ed.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales (2da. ed., pp. 675-703)*. México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y el Instituto de Geografía.

Rejas, J. (2008). Tratamiento digital previo de las imágenes. Obtenido el 28 mayo de 2020 de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45518/componente45516.pdf

Toro, N., Gomariz, F., Cánovas, F y Sierra, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del Río Argos (Región de Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (67), 327-347.

Stehman, S. y Czaplewski, R. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assessment fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*. 64:331-334.

© Santiago Juan Medina Silva y Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo.

Medina S.; Gutiérrez J. (2024). Fragmentación en los ecosistemas forestales del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 16(29) Sección I: Artículos. pp. 1-14

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 30 de julio de 2024

Aceptado: 5 de septiembre de 2024