

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA ACADÉMICA EN CIENCIAS FORESTALES

USOS DE LA TIERRA Y FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DEL ÁREA
PROTEGIDA PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL
TOTONICAPÁN, GUATEMALA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGISTER EN CIENCIAS FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRÍA

PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA

CARTAGO, COSTA RICA
NOVIEMBRE, 2024



TEC | Tecnológico
de Costa Rica



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA ACADÉMICA EN CIENCIAS FORESTALES

USOS DE LA TIERRA Y FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DEL ÁREA
PROTEGIDA PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL
TOTONICAPÁN, GUATEMALA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGISTER EN CIENCIAS FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRÍA

PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA

CARTAGO, COSTA RICA
NOVIEMBRE, 2024

ESTE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN HA SIDO DEFENDIDO PÚBLICAMENTE ANTE EL TRIBUNAL EVALUADOR DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA ACADÉMICA EN CIENCIAS FORESTALES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGISTER EN CIENCIAS FORESTALES CON EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRÍA.

MBA. Luis Diego Camacho Cornejo
Coordinador de la Maestría

Dra. Nancy Gamboa Badilla
Tutora de Tesis

M. Sc. Casia Soto Montoya
Lectora

M. Sc. Dorian Carvajal Vanegas
Lector

Dr. Harold Arias Le Claire
Lector

Lic. Priscila Isabel Ixcotoyac Cabrera
Sustentante

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por su infinito amor y fidelidad, que me ha acompañado en cada paso de este camino. Por poner en mi vida a personas extraordinarias que, con su apoyo y bondad, hicieron que alcanzar esta meta fuera mucho más llevadero. Hoy, con gratitud en mi corazón, puedo decir:

“Eben-ezer, Hasta aquí nos ayudó Jehová” (1 Samuel 7:12).

DEDICATORIA

A MIS SOBRINOS, Nicolás Alejandro, Génesis Alejandra, Gerardo Antonio y Miguel David, cuya ternura y maravillosas sonrisas han sido mi fuente inagotable de amor, alegría, energía y motivación en mi vida. Ustedes me inspiran a ser una mejor persona y valorar esos pequeños instantes que la vida nos da. Hoy quiero recordarles que, cuando confiamos plenamente en Dios, Él convierte nuestros sueños en realidad. Que este versículo los guíe siempre:

“Deléitate en Jehová, y Él concederá los deseos de tu corazón” (Salmos 37:4).

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	8
GENERAL ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN GENERAL	12
OBJETIVOS	15
General	15
Específicos.....	15
CAPITULO I: CAMBIO DEL USO DE LA TIERRA ENTRE LOS AÑOS 1997 Y 2023, PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL TOTONICAPÁN, GUATEMALA	16
Resumen.....	17
Abstract.....	19
Introducción	20
Materiales y métodos	22
Resultados	30
Discusión	39
Conclusiones	42
Agradecimientos	42
Referencias.....	43
CAPITULO II: FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DEL PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL TOTONICAPÁN, GUATEMALA.....	47
Resumen.....	48
Abstract.....	49
Introducción	50
Materiales y métodos	51

Resultados	55
Discusión	57
Conclusiones	60
Agradecimientos	60
Referencias	61
CAPITULO III: PROPUESTA DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN DEL PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL TOTONICAPÁN, GUATEMALA	64
Breve descripción del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala	65
Propuesta de acciones de conservación.....	66
Propuesta de plan de acción para las acciones de conservación	76
Consideraciones para la implementación de las acciones de conservación	79
Referencias	81
CONCLUSIONES GENERALES	82
RECOMENDACIONES GENERALES	83
REFERENCIAS GENERALES	84

RESUMEN GENERAL

El estudio se realizó en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala y el presente documento está estructurado en tres capítulos, cada uno de los cuales aborda aspectos específicos sobre el cambio de uso de la tierra, la fragmentación del paisaje y propuesta de acciones de conservación.

En el Capítulo I se discute la transformación de los usos de la tierra en la zona de estudio mediante análisis de imágenes satelitales de Landsat 5 y Landsat 9 correspondientes a los años 1997 y 2023. Utilizando técnicas de clasificación supervisada a través del algoritmo Random Forest en Google Earth Engine y QGIS 3.34, el estudio identifica tres categorías principales de uso de la tierra: “territorios artificializados”, “territorios agrícolas” y “bosques y medios seminaturales”. Los resultados destacan un incremento del 22% en áreas urbanas, una reducción del 26% en tierras agrícolas y un aumento del 4% en áreas boscosas y medios seminaturales. Este cambio positivo hacia la cobertura forestal se atribuye principalmente a la conservación realizada por las organizaciones comunitarias maya k'iche', que han promovido la reforestación y prácticas de restauración. Sin embargo, el crecimiento urbano, impulsado por mejores condiciones socioeconómicas, sigue ejerciendo presión sobre el territorio y plantea desafíos adicionales para su conservación.

El Capítulo II explora el proceso de fragmentación del paisaje del parque entre los años 1997 y 2023 a través de cinco métricas de paisaje a nivel de clase de cobertura y dos métricas de diversidad. Las métricas se aplicaron a las coberturas de “territorios artificializados”, “territorios agrícolas” y “bosques y medios seminaturales”, utilizando el complemento LecoS en QGIS 3.34. Los resultados muestran que, aunque las acciones de restauración forestal han incrementado la conectividad en ciertas áreas, la expansión de territorios artificializados ha aumentado la fragmentación general del paisaje. La homogeneización del área, evidenciada en la disminución de los índices de Shannon y Simpson, señala una reducción en la diversidad estructural del paisaje. Este proceso implica una concentración de parches de bosque más grandes, con una reducción en la

diversidad y conectividad de otros tipos de coberturas, lo que podría afectar la biodiversidad a largo plazo y la resiliencia ecológica del parque.

El último capítulo presenta una propuesta de conservación para el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala basadas en los hallazgos de los capítulos anteriores, conversaciones con actores claves y observaciones realizadas durante el trabajo de campo. Se propone una serie de acciones de conservación basada en el fortalecimiento de las prácticas de conservación mediante la implementación de programas de incentivos económicos y la mejora en la gestión administrativa. Dado al relevante papel de las comunidades locales en la preservación del bosque, se destaca la necesidad de brindar apoyo continuo a las prácticas tradicionales de los habitantes maya k'iche' y de facilitar la colaboración con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Asimismo, se recomienda desarrollar un plan maestro de gestión para el parque, que incluya un monitoreo periódico de los cambios en el uso de la tierra y en la fragmentación del paisaje, así como la promoción de actividades de educación ambiental que fomenten el respeto y la participación de las comunidades en la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: Área protegida, imágenes satelitales, clasificación supervisada, SIG, GEE, ráster, métricas del paisaje, QGIS, LecoS.

GENERAL ABSTRACT

The study was carried out in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, and this document is structured in three chapters, each of which addresses specific aspects of land use change, landscape fragmentation and proposal for conservation actions.

Chapter I discusses the transformation of land uses in the study area through analysis of Landsat 5 and Landsat 9 satellite images corresponding to the years 1997 and 2023. Using supervised classification techniques through the Random Forest algorithm in Google Earth Engine and QGIS 3.34, the study identifies three main land use categories: “artificialized territories”, “agricultural territories” and “forests and semi-natural environments”. The results highlight a 22% increase in urban areas, a 25% decrease in agricultural lands and a 4% increase in forested areas and semi-natural environments. This positive change towards forest cover is mainly attributed to the conservation carried out by the Mayan K'iche' community organizations, which have promoted reforestation and restoration practices. However, urban growth, driven by improved socioeconomic conditions, continues to exert pressure on the territory and poses additional conservation challenges.

Chapter II explores the process of landscape fragmentation in the park between 1997 and 2023 through five landscape metrics at the cover class level and two diversity metrics. The metrics were applied to the coverages of “artificialized territories”, “agricultural territories” and “forests and semi-natural environments”, using the LecoS plug-in in QGIS 3.34. The results show that, although forest restoration actions have increased connectivity in certain areas, the expansion of artificialized territories has increased the overall fragmentation of the landscape. The homogenization of the area, evidenced by the decrease in the Shannon and Simpson indices, points to a reduction in the structural diversity of the landscape. This process implies a concentration of larger forest patches, with a reduction in the diversity and connectivity of other cover types, which could affect the park's long-term biodiversity and ecological resilience.

The last chapter presents a conservation proposal for Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala based on the findings of the previous chapters, conversations with key stakeholders and observations made during field work. A series of conservation actions are proposed based on strengthening conservation practices by implementing economic incentive programs and improving administrative management. Given the important role of local communities in the preservation of the forest, the need to provide continuous support to the traditional practices of the Maya K'iche' inhabitants and to facilitate collaboration with governmental and non-governmental organizations is highlighted. It is also recommended to develop a master management plan for the park that includes periodic monitoring of changes in land use and landscape fragmentation, as well as the promotion of environmental education activities that encourage respect and community participation in the conservation of natural resources.

Key words: protected area, satellite imagery, supervised classification, GIS, GEE, raster, landscape metrics, QGIS, LecoS.

INTRODUCCIÓN GENERAL

En Guatemala, uno de los objetivos de la Ley de Áreas Protegidas y su Reglamento es establecer las áreas protegidas necesarias para conservar la biodiversidad en el territorio nacional, con carácter de utilidad pública e interés social [1], [2]. Algunas de estas áreas son establecidas debido a una necesidad sentida, tal como es el caso del Parque Regional Municipal (PRM) Los Altos de San Miguel Totonicapán, declarado a solicitud de la población local mediante resolución municipal 35-97 del 1 de agosto de 1997 e inscrita por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) por resolución 102-97 del 13 de agosto del mismo año.

El PRM se encuentra ubicado en el municipio y departamento de Totonicapán, Guatemala, siendo sus coordenadas geográficas del centroide 686800, 1648210 en el sistema de referencia de coordenadas WGS84/UTM Zona 15 N. Cuenta con una extensión territorial de 12052,64 ha, cubiertas principalmente por especies de coníferas. A su vez, en el parque se originan más de 800 nacimientos de agua que se distribuyen en las cuencas de los ríos Motagua, Nahualate, Salinas, Samalá y lago de Atitlán, que abastecen a comunidades de los departamentos de Totonicapán, Sololá y El Quiché. Por esta razón, las comunidades locales han velado por la conservación de este sitio. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, en el pasado estos bosques sufrieron sobreexplotación de madera, árboles, ramillas y descortezamiento de diversas especies, por lo que una medida para detener estas actividades fue la declaratoria de área protegida [3], [4].

A partir de la declaratoria, la administración del parque está a cargo del CONAP en coadministración con la Municipalidad de Totonicapán. Debido a la importancia de conservación de este territorio, se han sumado organizaciones que convergen en el territorio con los mismos intereses, siendo las más importantes las organizaciones de la sociedad civil como la Junta de Alcaldes y la Junta Directiva de Bienes y Recursos Naturales de 48 cantones, organizaciones gubernamentales, como el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y otras no gubernamentales como EcoLogic Development Fund. Quienes por 26 años y a través de la ejecución de

diferentes programas y proyectos han buscado realizar acciones encaminadas a la protección, conservación y restauración de los bosques [5].

A pesar de múltiples esfuerzos realizados para la adecuada gestión del parque, actualmente no existe una línea base de referencia acerca del uso de la tierra y la fragmentación de los bosques, la cual permita evaluar los cambios que se han dado tras suscribir este territorio dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). Lo anterior a manera de evidenciar si se ha logrado alcanzar el fin primordial de la creación de las áreas protegidas del país, el cual es frenar las actividades antropogénicas que dan paso al cambio de uso de la tierra y por ende al cambio de cobertura vegetal [5].

En el año 2010, el PRM Los Altos de San Miguel Totonicapán, bajo la ponderación de los ámbitos administrativo, económico-financiero, político-legal, recursos naturales-culturales y el social, evaluó el manejo de esta área protegida, obteniendo una calificación en la escala de gestión de manejo de 360 puntos, lo que corresponde a un nivel de manejo poco aceptable [6]. Adicionalmente a esto, el manejo del área protegida es regido cada año por el Plan Operativo Anual (POA), el cual en su última ficha informativa evidenció la existencia de debilidades respecto a la inexistencia del plan maestro, falta de personal capacitado, recursos insuficientes para labores y una débil participación del Concejo Municipal en materia de administración. A su vez, el sitio continúa sufriendo amenazas de origen antropogénico como invasiones ilegales de las comunidades, tala ilícita y aprovechamiento ilegal del pinabete (*Abies guatemalensis*) [7].

Estos datos permiten hacer una reflexión respecto a la declaratoria de áreas protegidas, la cual no es una garantía del buen manejo de los territorios. A nivel nacional esto podría estar reflejado en que a pesar de que el 30,3% del territorio se encuentra dentro del SIGAP y al año 2016 esto representaba el 51,4% de los bosques, el análisis de la dinámica forestal del 2010 al 2016 sugiere que la tasa

anual de pérdida bruta de cobertura forestal dentro de áreas protegidas es del 13,98% [8].

Con base en lo mencionado anteriormente, generar información histórica y actual sobre el uso de la tierra y la fragmentación del PRM, fortalecería el trabajo de las organizaciones y comunidades en este territorio, al orientar de una mejor forma las acciones que realizan. Tomar decisiones de manejo de una manera más orientada y acertada, con una base de referencia, permite hacer propuestas identificando y priorizando las zonas que requieren de una mayor atención y así evitar la fragmentación del paisaje. De esta forma, se obtendrían resultados positivos y efectivos de manejo en un área de importancia para las comunidades, debido a los beneficios que de ella obtienen.

OBJETIVOS

General

Evaluar el cambio de uso de la tierra y la fragmentación del paisaje para la conservación del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Específicos

1. Analizar los cambios del uso de la tierra entre los años 1997 y 2023 en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.
2. Comparar la fragmentación a través de métricas del paisaje para los años 1997 y 2023 en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.
3. Proponer acciones de conservación para la gestión del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

**CAPITULO I: CAMBIO DEL USO DE LA TIERRA ENTRE LOS AÑOS 1997 Y
2023, PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL
TOTONICAPÁN, GUATEMALA**

**Cambio del uso de la tierra entre los años 1997 y 2023, Parque Regional
Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala**
**Change in land use between 1997 and 2023, Parque Regional Municipal Los
Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala**

Priscila Isabel Ixcotoyac-Cabrera¹

Nancy Gamboa-Badilla¹

Casia Soto-Montoya¹

Resumen

Este estudio se realizó en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, con el objetivo de evaluar los cambios en el uso del suelo desde su declaración como área protegida en 1997 hasta el año 2023. Utilizando Google Earth Engine y QGIS 3.34, se realizó una clasificación supervisada con el algoritmo random forest, con 1253 observaciones de campo, asociados a los usos de la tierra, categorizados en territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y medios seminaturales.

Se utilizaron imágenes satelitales de los años 1997 (Landsat 5) y 2023 (Landsat 9). La clasificación supervisada reveló un 97,62% de precisión para 1997 y un 100% para 2023. Los resultados mostraron un aumento del 22% en áreas urbanas, una disminución del 25% en tierras agrícolas y un aumento del 4% en bosques y medios seminaturales. El principal factor para la conservación y el incremento de las áreas boscosas es el éxito del cuidado del bosque por parte de las organizaciones comunitarias maya k'iche', que de manera ancestral han dejado un legado histórico para la protección de los recursos naturales. Sin embargo, entre el año 1997 y 2023 en algunas áreas se ha dado una degradación de "bosques y medios seminaturales", otros sitios que principalmente eran usados como áreas para cultivar al quedar abandonados han iniciado procesos de restauración e inclusive

¹ Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; pixcotoyac@estudiantec.cr, ngamboa@itcr.ac.cr, csoto@itcr.ac.cr; <https://orcid.org/0009-0003-9821-6909>, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3958>, <https://orcid.org/0000-0002-2275-7317>

las comunidades han realizado reforestaciones para contribuir a la recuperación de la cobertura forestal. Sin embargo, esta recuperación la realizan con pocas especies, modificando de esta forma la calidad de los servicios que brindan los bosques. Estos cambios se deben principalmente a que las condiciones socioeconómicas de la población han mejorado y con ellos han buscado tener mejor infraestructura para vivienda y servicios. Se evidencia la necesidad de promover iniciativas para evaluar y evitar la degradación del bosque.

Palabras clave: Área protegida, imágenes satelitales, clasificación supervisada, SIG, GEE.

Abstract

This study was conducted in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, with the objective of evaluating changes in land use since its declaration as a protected area in 1997 until the year 2023. Using Google Earth Engine and QGIS 3.34, a supervised classification was carried out with the random forest algorithm, with 1253 field observations, associated with land uses, categorized into artificialized territories, agricultural territories, forests and semi-natural environments.

Satellite images from 1997 (Landsat 5) and 2023 (Landsat 9) were used. Supervised classification revealed 97,62% accuracy for 1997 and 100% accuracy for 2023. The results showed a 22% increase in urban areas, a 25% decrease in agricultural land and a 4% increase in forest and semi-natural environments. The main factor for the conservation and increase of forested areas is the successful care of the forest by the Mayan K'iche' community organizations, which have ancestrally left a historical legacy for the protection of natural resources. However, between 1997 and 2023 in some areas there has been a degradation of “forests and semi-natural environments”, other sites that were mainly used as areas for cultivation have been abandoned and have begun restoration processes and even the communities have carried out reforestation to contribute to the recovery of the forest cover. However, this recovery has been carried out with few species, thus modifying the quality of the services provided by the forests. These changes are mainly due to the fact that the socioeconomic conditions of the population have improved and they have sought better infrastructure for housing and services. There is a need to promote initiatives to evaluate and prevent forest degradation.

Keywords: Protected area, satellite images, supervised classification, SIG, GEE.

Introducción

El cambio de uso de la tierra es un proceso histórico y dinámico relacionado con múltiples factores, sean causas naturales o bien por intervenciones humanas, afectando de esta forma el origen de las coberturas de la tierra. Estos cambios suelen darse a pequeña o gran escala, transformando significativamente los ecosistemas y sus servicios asociados [1], [2], [3]. En algunos países, una manera de minimizar las intervenciones humanas asociadas al cambio de uso de la tierra es integrar ciertos sitios a los sistemas nacionales de áreas protegidas. Sin embargo, algunos estudios realizados revelan que pese a su declaratoria los sitios siguen sufriendo cambios de uso de la tierra dentro de ellas, siendo una de las causas principales el avance de la frontera agrícola [4].

La región Centroamericana, por sus características biogeográficas, posee una alta biodiversidad y abundantes recursos naturales. Sin embargo, estos enfrentan graves presiones, siendo una de ellas el cambio de uso de la tierra, impulsado principalmente por la expansión agrícola, el crecimiento urbano y la explotación de recursos naturales. La región también enfrenta altas tasas de deforestación, especialmente en Honduras, Guatemala y Nicaragua, conducidas por la actividad agrícola y la extracción ilegal de madera y leña. Donde a pesar de tener países con altas coberturas forestales como Belice y Costa Rica, la degradación forestal continúa de manera acelerada, reflejando la insuficiencia de los gobiernos en la gestión y protección de los recursos [5], [6], [7].

La presente investigación se realizó en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán. Esta área se caracteriza por ser un bosque comunal que a petición de sus propietarios indígenas maya k'iche' fue declarado área protegida para resguardarlo de amenazas antrópicas como el avance de la frontera agrícola, los incendios forestales, el pastoreo, la tala y uso ilegal de los productos forestales. Lo cual ponía en riesgo la cobertura forestal, que es asociada por las comunidades con la recarga hídrica, siendo el agua uno de los recursos principales y razón por

la que las comunidades han luchado para conservar los bosques de esta zona [8], [9], [10].

Es importante mencionar que esta área comprende varios usos de la tierra como asentamientos humanos y zona agrícola, así como bosques con usos asociados a la extracción de productos maderables y no maderables, tal es el caso de la extracción de ramas de pinabete (*Abies guatemalensis*), leña, ocote, madera broza y corteza de árboles [11]. No obstante, estas actividades son ilegales, ya que la zona está suscrita en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) en una categoría de manejo Tipo IV. La cual restringe este tipo de actividades y su objetivo principal es la conservación del área para la recreación al aire libre y la educación, mantenimiento de una porción o la totalidad del camino, sendero, canal o río y de su panorama en un estado natural o semi natural, calidad del paisaje y prevención de la degradación de los recursos naturales [12], [13].

A pesar de la categoría de manejo de esta zona, existen evidencias de que las actividades ilegales continúan realizándose y podrían modificar significativamente los usos de la tierra [8]. En el 2016 a nivel nacional el 51,4% de los bosques se encontraba dentro del SIGAP y el análisis de la dinámica forestal del año 2010 al 2016 sugiere que la tasa anual de pérdida bruta de bosques dentro de áreas protegidas fue del 13,98% [14]. Sumado a esto la grave inexistencia de un plan maestro que pueda orientar las acciones de conservación dentro del área [11] y la fuerte presión que ejercen las comunidades que están asentadas dentro y fuera del área sobre el bosque [9], conducen a considerar que la declaratoria de área protegida de un sitio no es una garantía del buen manejo de los territorios.

Los hechos reflejan que, a nivel nacional, los sitios declarados como áreas protegidas siguen experimentando cambios que podrían estar modificando el paisaje y, por ende, no estarían cumpliendo con los objetivos para los que fueron creados. La finalidad de este estudio fue evaluar si, desde la declaratoria del área protegida en 1997 y hasta el año 2023, ha habido cambios de uso de la tierra.

Materiales y métodos

Área de estudio: el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán cuenta con una extensión territorial del 12052,64 ha, es parte del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas desde el año 1997, bajo la categoría de manejo Tipo IV. Ubicado al oeste de Guatemala en las tierras altas del altiplano, en el municipio y departamento de Totonicapán, siendo las coordenadas geográficas del centroide $x=686800$, $y=1648210$, en el sistema de referencia de coordenadas WGS84/UTM Zona 15 N (Figura 1). El área de estudio colinda al sur con el departamento de Sololá, al este con el departamento de Quiché y al norte y oeste con los municipios de Santa María Chiquimula, San Cristóbal Totonicapán, San Francisco El Alto y Momostenango del departamento de Totonicapán [9].

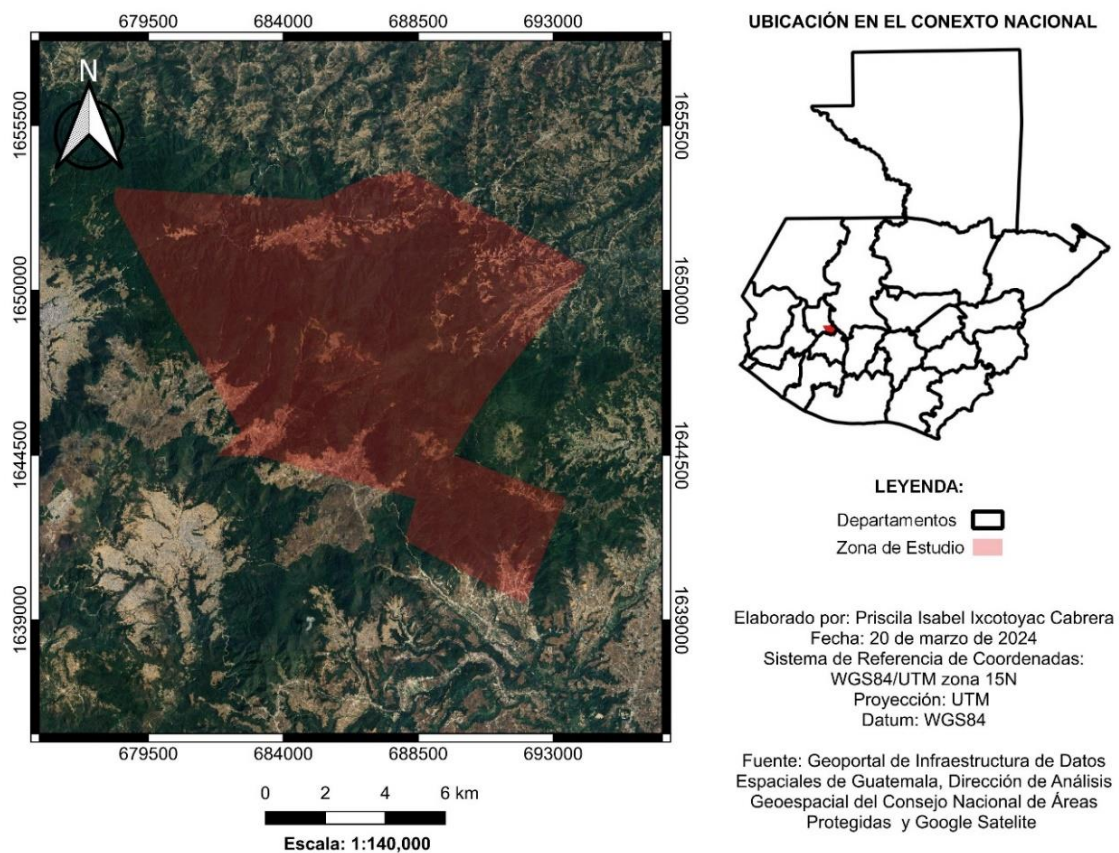


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 1. Location map of the study area Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Su altitud y ubicación geográfica hacen que sea una zona de relevancia hídrica, al ser considerada como parte alta de las cuencas de los ríos Motagua, Nahualate, Salinas, Samalá y lago de Atitlán [17]. La zona posee bosques de coníferas considerados los más grandes y mejor conservados del país. Dentro de las especies de flora destacan pinabete (*Abies guatemalensis*), pino blanco (*Pinus ayacahuite*), pino macho (*Pinus montezumae*), pino triste (*Pinus pseudostrobus*), pino rojo (*Pinus rudis*), pino ocote (*Pinus oocarpa*) y ciprés (*Cupressus lusitanica*). En menor proporción se pueden encontrar especies de latifoliadas como encinos (*Quercus spp.*), alisos (*Alnus spp.*), laurel (*Persea spp.*), madrón (*Arbutus xalapensis*) y el arbusto que más predomina en la zona es el arrayán (*Pernettya mucronata*) [10], [16].

La presencia y predominancia de las especies de coníferas se debe a que su elevación va desde los 2400 msnm hasta los 3403 msnm y a sus condiciones climáticas con una temperatura mínima de 12°C, temperatura máxima de 18°C, en los meses de noviembre a febrero se han registrado temperaturas extremas que alcanzan los -7°C, un rango de precipitación pluvial que va de 1000 a 1500 milímetros anuales [9], [17].

En cuanto a la fauna del lugar, se tienen registros de aves, en las que sobresalen el colibrí (*Basilinna leucotis*), chupaflor (*Lampornis viridipallens*), mosqueritos (*Empidonax affinis* y *Empidonax Flavescens*), golondrina (*Notiochelidon pileata*) y zorzal (*Turdus rufitorques*). Respecto a mamíferos, se encuentran la musaraña (*Cryptotis goodwini*), ratones (*Microtus guatemalensis*, *Habromys lophurus*, *Scotinomys teguina*, *Reithrodontomys sumichrasti*, *Peromyscus aztecus*, *Peromyscus levipes*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), murciélago (*Glossophaga leachii*), coyote (*Canis latrans*) y comadreja (*Mustela frenata*) [10].

Obtención de cartografía base: se utilizaron los Geoportales de Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala (IDEG) de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) y de la Dirección de Análisis Geoespacial del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Esto para la obtención de formatos vectoriales de las áreas protegidas y los centros poblados de Guatemala. Estos formatos se procesaron haciendo uso del programa QGIS 3.34, para obtener únicamente el área de estudio y los centros poblados que tienen influencia en la zona, mismos que fueron proyectados en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM zona 15 Norte.

Obtención de imágenes satelitales: se utilizó la plataforma de Google Earth Engine (GEE) para descargar imágenes Landsat, debido a su disponibilidad para los años de estudio, se descargó una imagen Landsat 5 del año 1997 y una Landsat 9 del año 2023. Para ello, a la plataforma se agregó el formato vectorial del polígono del área de estudio y se escribió el código para descargar una imagen compuesta para cada uno de los años respectivos. En este código se especificó el área, el año, un máximo de 5% de nubosidad y la media que se utilizó para crear la composición de la imagen satelital. Finalmente se descargaron las imágenes satelitales en formato ráster.

Recolección de datos de campo: en el área de estudio se definieron 13 transectos, con una totalidad de 131,05 km de recorrido. Aproximadamente cada 500 m se marcó un punto de observación, tomando un total de 266 puntos (Figura 2). Se buscó que los datos recopilados aportaran información sobre los diferentes tipos de uso de la tierra, que fueran de fácil acceso y que se contara con el permiso de las autoridades comunitarias que tienen a su cargo el cuidado del territorio. Una vez definidos los transectos se procedió a ir a campo para la toma de datos. En los recorridos de campo se utilizó un GPSMAP Garmin 66s configurado en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM zona 15 Norte, una brújula de mano KB-14 360RG Suunto, un teléfono móvil con la aplicación Avenza Maps y el mapa del área de estudio.

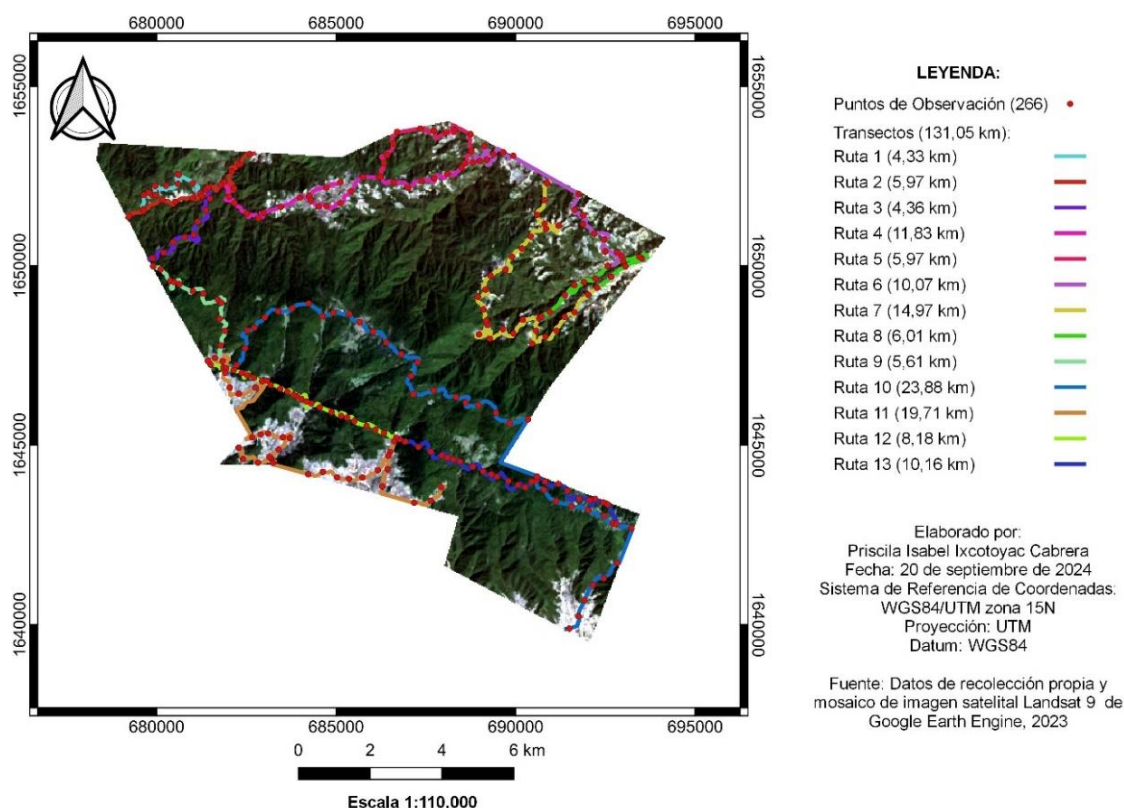


Figura 2. Mapa de distribución de los transectos y puntos de observación en el área de estudio Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 2. Distribution map of transects and observation points in the study area Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Los datos de campo se recolectaron de octubre a diciembre del año 2023. Durante los recorridos se utilizó como guía el mapa del área de estudio en Avenza Maps, el GPS para identificar los puntos de observación cada 500 m, se registró en boletas de campo para cada punto de observación las coordenadas X, Y, Z, azimut, usos de la tierra a cada 50, 100 y 150 m tomando como referencia la clasificación de usos de la tierra utilizada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en el año 2020 [18]. Además, se registraron, datos sobre la vegetación, observaciones generales y fotografías tanto a la derecha como a la izquierda del punto de observación.

Generación de base de datos: la base de datos se creó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, transcribiendo la información recolectada en la boleta de campo. Las coordenadas y el azimut de cada punto de observación se utilizaron como base para crear los datos de la derecha e izquierda a cada 50, 100 y 150 metros con la información de los usos de la tierra observado. Partiendo de estos datos se calcularon las coordenadas reales de cada punto de referencia, tomando como base la siguiente fórmula [21]:

$$X_r = X_c + \text{seno}(A) * D$$

$$Y_r = Y_c + \text{coseno}(A) * D$$

Donde:

Xr/Yr: coordenadas reales.

Xc/Yc: coordenadas conocidas.

A: azimut en radianes.

D: distancia en metros.

Al finalizar este procedimiento se obtuvo una base de datos con un total de 1608 puntos de referencia, de los cuales el 22% no contaba con información del uso de la tierra, debido a que las condiciones climáticas y topográficas no permitieron su identificación a los 100 y 150 m de distancia. Obteniendo una base de datos final de 1253 puntos de referencia con siete usos de la tierra identificados (Figura 3).

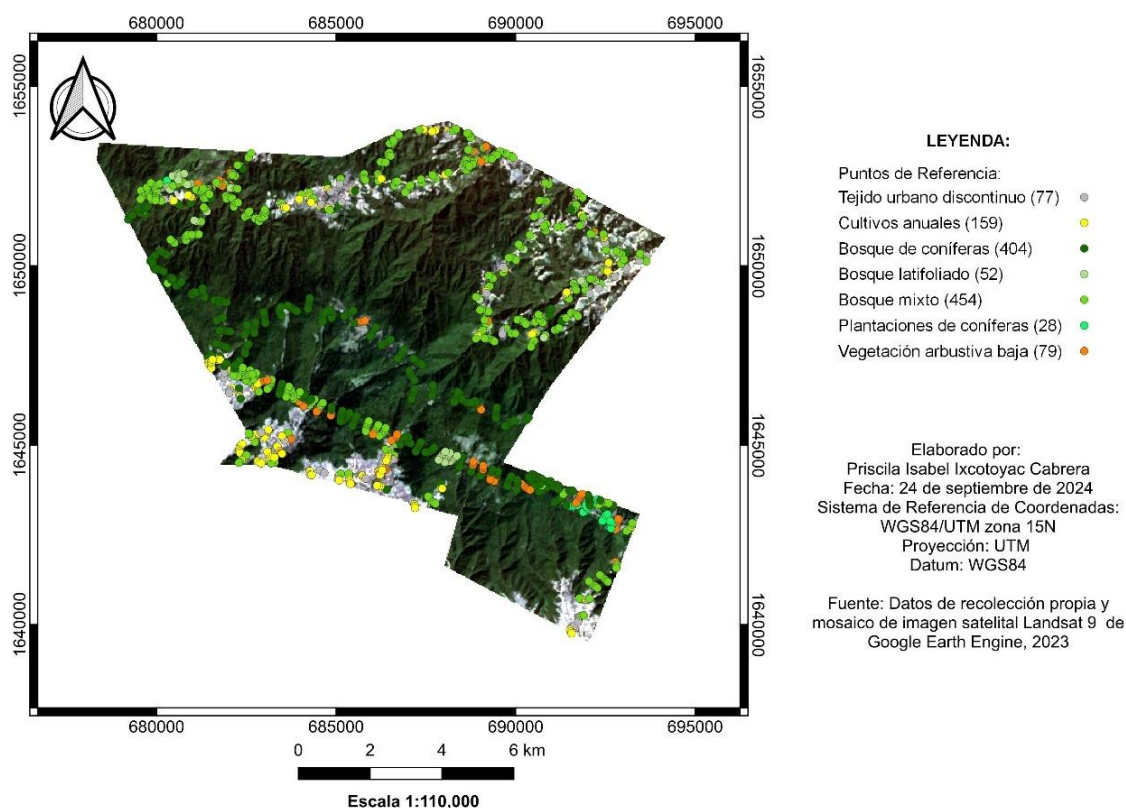


Figura 3. Mapa de distribución de puntos de referencia con usos del suelo identificados en el área de estudio Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 3. Landmark distribution map with identified land uses in the study area Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Creación de áreas de entrenamiento: se cargó la base de datos en formato CSV al programa QGIS 3.34 y este se guardó en un formato vectorial de puntos, para poder usarlo como referencia para la digitalización de los polígonos de entrenamiento. Para este proceso, a partir de los puntos de uso del suelo recolectados en campo se crearon polígonos de uso del suelo utilizando como referencia las imágenes Landsat y para verificar la digitalización correcta se observó el comportamiento de las gráficas de las firmas espectrales. Se digitalizaron áreas de entrenamiento de cada uno de los usos del suelo a partir de los puntos obtenidos en campo. Para la información correspondiente al año 1997, adicionalmente se realizó una sesión de

consultas a personas con conocimiento del sitio, para así validar las áreas donde el uso era distinto.

Separación de áreas para clasificación y para validación: en el programa QGIS 3.34 se utilizó la selección aleatoria dentro de subconjuntos, aplicándola al formato vectorial de polígonos de las áreas de entrenamiento. En esta se separó el 70% de las áreas de entrenamiento que se utilizaron para la realización de una clasificación supervisada y un 30% para validar la clasificación de uso del suelo de la imagen satelital.

Clasificación supervisada: se utilizó la plataforma de Google Earth Engine (GEE) para la realización de una clasificación supervisada de las imágenes satelitales Landsat 5 del año 1997 y Landsat 9 del año 2023. A la plataforma se agregaron los formatos vectoriales del área de estudio y de las áreas de entrenamiento, se escribió el código utilizado para la obtención de las imágenes satelitales y a este se le añadió el código para la realización de la clasificación supervisada por medio del algoritmo Random forest. Finalmente se descargaron las imágenes satelitales clasificadas en formato ráster.

Exactitud de clasificación: en el programa QGIS 3.34 se cargaron las imágenes satelitales clasificadas obtenidas en GEE, así como el formato vectorial correspondiente al 30% de áreas de entrenamiento, que fueron los insumos que sirvieron para la realización de la validación de la clasificación supervisada. Para ello, se utilizó la herramienta de análisis ráster estadísticas de zonas, utilizando la mayoría como estadística para la clasificación de uso del suelo. Con los datos generados de esta estadística se procedió a crear una tabla dinámica en Microsoft Excel a la que se llamó matriz de confusión, donde en las columnas se agregó el uso del suelo que cada polígono tenía en campo y en las filas el uso del suelo a partir de la clasificación supervisada de la imagen satelital. Una vez creada esta matriz se procedió a calcular la exactitud general o global de clasificación, entre la razón del número de unidades clasificadas correctamente y el número total de

unidades consideradas, multiplicado por 100 para obtener el porcentaje de exactitud de clasificación [20].

Generación de mapas de uso del suelo: en el programa QGIS 3.34 se procedió a convertir los ráster de las imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 9 (clasificadas con uso del suelo) en polígonos por medio de la herramienta “Poligonizar” para obtener los formatos vectoriales de polígonos con los cuales se generaron los mapas para visualizar los diferentes usos. Así mismo, se obtuvieron las áreas en hectáreas de cada uso del suelo.

Análisis de cambio de uso del suelo: partiendo de los valores obtenidos del área de cada uso del suelo se realizó una matriz de comparación entre el año 1997 y 2023 para determinar si las áreas de cada uso se mantuvieron, aumentaron o disminuyeron. Para ello se obtuvo el área de cambio en los usos encontrados. Para visualizar estos cambios, con las imágenes ráster clasificadas se utilizó una tabla de verdad para identificar usos que fueron modificados positiva o negativamente y los que se mantuvieron. La imagen ráster obtenida como resultado se poligonizó y se visualizó en un mapa.

Resultados

En el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, entre 1997 y 2023 se encontraron siete usos de la tierra, agrupados en tres categorías principales: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y medios seminaturales. Al comparar estos usos de la tierra en los dos años de estudio se encontraron diferencias importantes en la configuración del paisaje. Los principales hallazgos se describen a continuación:

Territorios artificializados: en esta clase se agruparon las áreas con construcciones dedicadas a viviendas o edificaciones que prestan servicios a la comunidad, incluyendo todas las obras de infraestructura necesarias para el bienestar de los habitantes. El uso de la tierra que se encontraba y aún se encuentra presente en el área de estudio es el de tejido urbano discontinuo (Figura 4), el cual hace referencia a espacios con edificaciones que cubren la superficie de manera dispersa y discontinua y el resto del área está cubierto por vegetación.

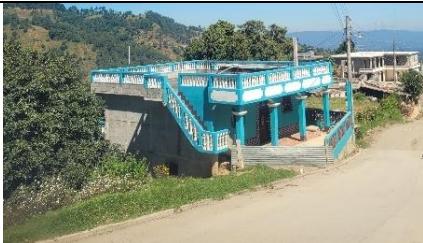
Imagen de Google Satelital	Fotografía propia tomada en campo
	

Figura 4. Visualización del uso de la tierra “tejido urbano discontinuo” en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 4. Visualization of the land use “discontinuous urban fabric” in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Territorios agrícolas: en esta clase se agruparon las áreas que son utilizadas para la producción de alimentos o fibras para el consumo humano y para su bienestar. En esta clase el uso de la tierra que se encontraba y aún se encuentra presente es la de cultivos anuales (Figura 5), este hace referencia a cultivos cuyo ciclo de

producción es inferior a un año. Para la zona de estudio los cultivos presentes son los granos básicos tal como el maíz y frijol.

Imagen de Google Satelital	Fotografía propia tomada en campo
	

Figura 5. Visualización del uso de la tierra “cultivos anuales” en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 5. Visualization of the land use “annual crops” in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Bosques y medios seminaturales: en esta clase se agruparon las áreas con bosque, compuestas por elementos arbóreos. En el área de estudio se identificaron bosques de coníferas (Figura A6), latifoliados (Figura B6) y mixtos (Figura C6). También se identificaron plantaciones forestales de coníferas (Figura D6), que corresponden a sitios con especies arbóreas de distanciamiento y distribución uniforme. Así mismo, vegetación arbustiva baja (Figura E6) que corresponde a tierras que tienen plantas leñosas ramificadas que no sobrepasan los 5 m de altura y que se encuentran en asocio con hierbas y malezas que no sobrepasan los 0,5 m de altura.

Imagen de Google Satelital	Fotografía propia tomada en campo
	
A “Bosque de coníferas”	
	
B “Bosque latifoliado”	
	
C “Bosque mixto”	
	
D “Plantaciones forestales de coníferas”	
	
E “Vegetación arbustiva baja”	

Figura 6. Visualización de usos de la tierra “bosques y medios seminaturales” en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 6. Visualization of the land use “forest and semi-natural environments” in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

La clasificación supervisada se realizó tomando como base los tres grupos generales de uso de la tierra: “territorios artificializados”, “territorios agrícolas” y “bosques y medios seminaturales”, con esta clasificación se obtuvo un 97,62% de exactitud para el año 1997 (Cuadro 1) y un 100% de exactitud para el año 2023 (Cuadro 2). El porcentaje de exactitud se considera aceptable, ya que en estudios similares de clasificación supervisada de imágenes Landsat, la exactitud global de clasificación se ha reportado con porcentajes variables que van de 85% a 99%. Por ejemplo, en 2014 se realizó un estudio en la región central de la provincia de Córdoba en Argentina, donde los usos de la tierra fueron cultivos (maíz y soja) y otras coberturas (camino, pasturas, ribera de ríos, otros), con una exactitud de 98,92% [23]. Otros dos estudios del año 2018 en Costa Rica, uno realizado en el cantón Alvarado en Cartago con usos de la tierra asociados a bosque, agricultura, zonas urbanas, el cual obtuvo un 85,25% de exactitud [22] y otro realizado en el Corredor biológico Lago Arenal-Tenorio, donde los usos de la tierra fueron bosque, pastos, urbano y cuerpos de agua con una exactitud por encima del 99% [23].

Cuadro 1. Matriz de confusión para obtener la exactitud global de la clasificación supervisada del uso de la tierra de la imagen Landsat 5, 1997 del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 1. Confusion matrix to obtain the global accuracy of the supervised land use classification of the Landsat 5 image, 1997 of Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Campo						
Clasificación	Territorios artificializados	Territorios agrícolas	Bosques y medios seminaturales	Total	Exactitud del usuario	
Territorios artificializados	3	0	0	3		100
Territorios agrícolas	0	9	0	9		100
Bosques y medios seminaturales	0	1	29	30		96,67
Total	3	10	29	42		
Exactitud del productor						
					100	90
					Exactitud total	
					97,62	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Matriz de confusión para obtener la exactitud global de la clasificación supervisada del uso de la tierra de la imagen Landsat 9, 2023 del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 2. Confusion matrix to obtain the global accuracy of the supervised land use classification of the Landsat 9 image, 2023 of Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Campo						
Clasificación	Territorios artificializados	Territorios agrícolas	Bosques y medios seminaturales	Total	Exactitud del usuario	
Territorios artificializados	7	0	0	7		100
Territorios agrícolas	0	14	0	14		100
Bosques y medios seminaturales	0	0	32	33		100
Total	7	14	32	53		
Exactitud del productor						
					100	100
					Exactitud total	
					100	

Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de cambio de los usos de la tierra en el área de estudio, se obtiene como resultado un incremento del 22% de los territorios artificializados”, una disminución del 26% de “territorios agrícolas” y un incremento del 4% en zonas de “bosque y medios seminaturales”. Al analizar estas variaciones pareciera que ha habido un cambio positivo en áreas destinadas a “bosques y medios seminaturales” (Cuadro 3). El análisis sugiere que en el 2023 el 88% del área de la zona de estudio presenta este uso de la tierra (Figura 7). Sin embargo, al visualizar y analizar la imagen de estos cambios (Figura 8), se puede observar que entre el año 1997 y

2023 en algunas áreas se ha dado una pérdida de cobertura en el uso de la tierra “bosques y medios seminaturales”, otros sitios que principalmente eran usados como áreas para cultivar y al quedar abandonados han iniciado procesos de restauración e inclusive las comunidades han realizado reforestaciones para contribuir a la recuperación de la cobertura forestal. Sin embargo, esta recuperación la realizan con pocas especies, modificando de esta forma la calidad de los servicios que brindan los bosques.

Cuadro 3. Matriz de cambio de uso de la tierra en hectáreas y porcentaje entre los años 1997 y 2023 del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 3. Land use change matrix in hectares and percentage between 1997 and 2023 for the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Uso de la tierra	Año 1997 (Ha)	Año 2023 (Ha)	Variación (Ha)	Variación (%)
Territorios artificializados	177,79	215,29	37,50	22
Territorios agrícolas	1590,21	1168,96	-421,25	-26
Bosques y medios seminaturales	10284,64	10668,39	383,75	4
Total (Ha)	12052,64	12052,64		

Fuente: Elaboración propia.

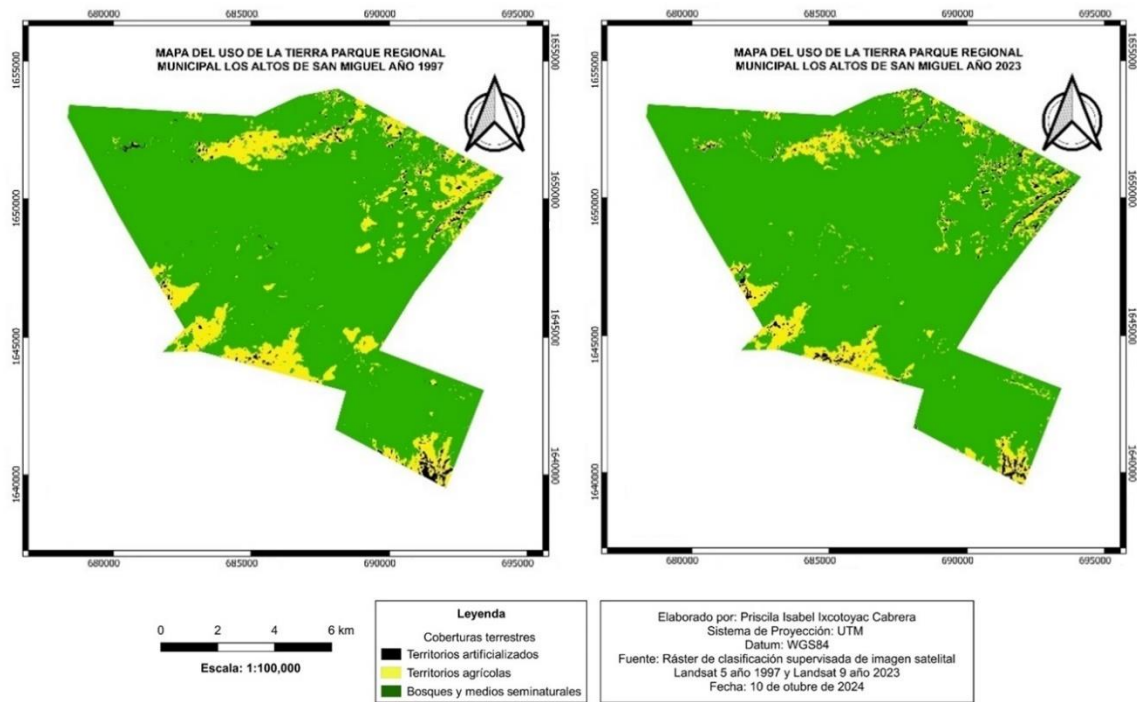


Figura 7. Mapa de distribución de los usos de la tierra del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, para los años 1997 y 2023.

Figure 7. Land use distribution map of Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, for the years 1997 and 2023.

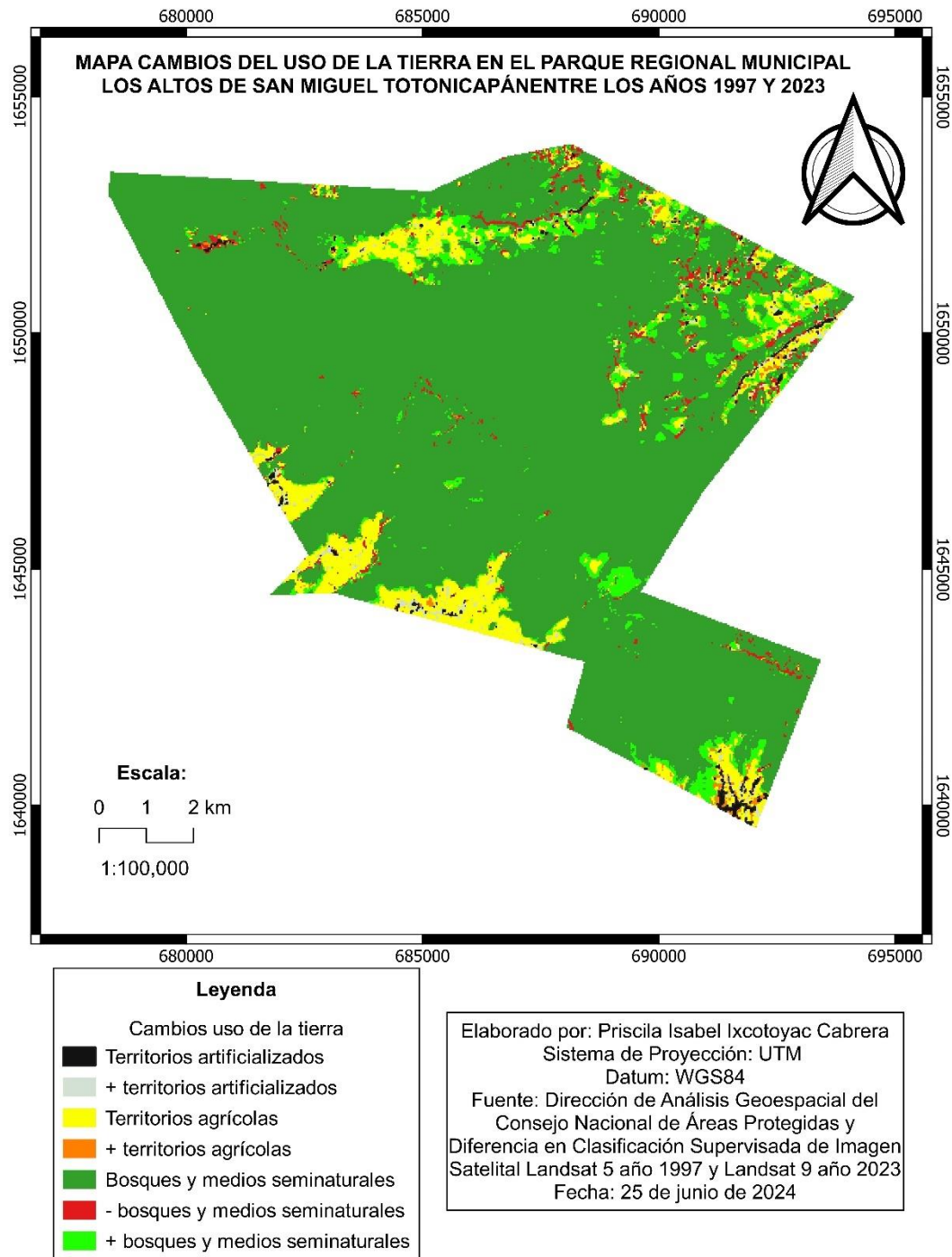


Figura 8. Mapa de cambios de los usos de la tierra del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala entre los años 1997 y 2023.

Figure 8. Land use changes map in Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala between 1997 and 2023.

Discusión

Los resultados obtenidos a partir del análisis de la clasificación supervisada realizada con imágenes Landsat 5 y Landsat 9, muestran que desde la declaratoria de área protegida del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán desde el año 1997 al año 2023 (26 años), han ocurrido cambios importantes en el uso de la tierra dentro del área de estudio. De manera global, el área presentó un aumento del 22% en los territorios artificializados, una disminución del 26% en los territorios agrícolas y un incremento moderado del 4% en las áreas de bosque y medios seminaturales. Estos resultados reflejan una tendencia que se ha venido dando en los últimos años en Centroamérica, donde el crecimiento urbano y el abandono de tierras agrícolas es cada vez más evidente. Así como la creciente preocupación de conservar los recursos naturales [24].

Expansión de los territorios artificializados: el aumento de los territorios artificializados que incluyen el tejido urbano discontinuo, se ha vuelto un patrón frecuente en zonas rurales y semiurbanas. En el caso del área de estudio, este incremento se ha dado a través de una expansión urbana no concentrada, mostrando una expansión dispersa. Esta puede deberse al crecimiento poblacional, pero también al desarrollo, mejoramiento y expansión de la infraestructura habitacional, lo cual fue muy evidente durante los recorridos de campo que se realizaron. Un estudio sobre la urbanización en Centroamérica realizado en el 2018, indica que en Guatemala y El Salvador las remesas han contribuido al crecimiento y expansión de estas zonas [24]. Otro estudio realizado en el 2021 en la Reserva de Biósfera Maya (RBM) en Petén, Guatemala revela que el crecimiento urbano en esta zona está relacionado con el incremento y mejoramiento de la urbanización [25]. Este comportamiento sugiere que la expansión de los territorios artificializados no solo responde a la demanda de espacio para viviendas, sino también a la expansión y mejoramiento de infraestructuras y servicios para el bienestar de la población que habita en zonas rurales.

Disminución de los territorios agrícolas: el abandono de tierras agrícolas, específicamente dedicadas a la producción de cultivos anuales como el maíz y el frijol está en estrecha relación con factores socioeconómicos que impulsan la adopción de otras actividades económicas más rentables, que hacen que las tierras queden abandonadas para dar paso a procesos de regeneración natural. Un claro ejemplo es la migración de quienes trabajan la tierra hacia otros países en busca de mejores oportunidades [24]. Este fenómeno también se registró en un estudio realizado en México, donde las dinámicas socioeconómicas principalmente de la población indígena hacen que su opción económica más rentable sea la migración internacional. Mercado-Mondragón (2008) indicó que el 32,1% de los informantes declaró que de continuar los flujos migratorios se terminaría el trabajo agrícola, reduciendo así las áreas agrícolas tradicionales [26].

Un incremento del 4% *conservación de las áreas de bosque y medios seminaturales*, refleja una tendencia positiva hacia la reforestación, ya sea por la recuperación natural o asistida de algunas áreas previamente deforestadas o degradadas. Dentro de los factores asociados al poco cambio en este uso de la tierra esta la declaratoria como área protegida del área de estudio en una categoría tipo IV como Parque Regional, donde los objetivos de manejo están orientados a mantener el área en su estado natural o seminatural, la calidad del paisaje y a prevenir la degradación de los recursos naturales [13].

Otro factor beneficioso ha sido la promoción de incentivos económicos para la conservación, recuperación y uso sostenible de los recursos forestales en el país, mediante el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), el cual inició en 1997 y culminó en el 2016. Así como el Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala (PROBOSQUE), que tuvo sus inicios en el 2016 y aún se encuentra vigente. Según el boletín estadístico de los programas de incentivos forestales PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE 1998-2023 en el departamento de Totonicapán han existido y existen proyectos registrados en PINFOR y PROBOSQUE [26].

Finalmente, el factor principal de conservación e incremento de las áreas boscosas se debe al éxito del cuidado del bosque por las organizaciones comunitarias maya k'iche', que de manera ancestral han dejado un legado histórico para la protección de los recursos naturales. Estas organizaciones comunitarias realizan esfuerzos constantes para mantener la vigilancia contra la tala ilegal y fomentar de proyectos de conservación y restauración con el fin primordial de mantener la cobertura boscosa, asociada a recursos vitales como el agua, aire y la biodiversidad. Cabe resaltar que estos esfuerzos son dirigidos por los líderes comunitarios representados en las juntas directivas de 48 cantones, quienes realizan alianzas estratégicas con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que persiguen los mismos intereses de conservación y protección de los bosques. Adicionalmente, los miembros de las comunidades presentan el servicio llamado k'axk'ol ad honorem y gran parte de este servicio está orientado a realizar actividades que contribuyan con la protección y la conservación de los bosques [9], [27], [28].

Conclusiones

El análisis de los cambios en el uso de la tierra del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala desde 1997 hasta 2023, revela tanto desafíos como oportunidades en la gestión de áreas protegidas. Se evidencia que durante 26 años de declaratoria como área protegida, se siguen dando cambios de uso de la tierra, y si bien de manera global resulta ser positivo para zonas de bosque y medios seminaturales, al hacer un análisis visual se evidencia que en algunas zonas se ha recuperado, principalmente porque ha habido una disminución en el uso de la tierra para la producción de cultivos anuales. Sin embargo, en otras áreas se sigue perdiendo la cobertura forestal. Las transformaciones del uso de la tierra reflejan que estos cambios se alinean con las tendencias observadas en otras regiones de Centroamérica, donde el crecimiento urbano y el abandono de tierras agrícolas son fenómenos cada vez más frecuentes.

El Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala a pesar de ser un sitio que está declarado como área protegida, sigue enfrentando presiones debido a actividades humanas, por lo que es necesario mantener un monitoreo continuo para poder plantear estrategias integradas que equilibren el desarrollo humano y la conservación ambiental. Ya que la conservación de los bosques se debe en gran medida al rol de las organizaciones comunitarias en la conservación forestal, desde sus prácticas ancestrales que han sido fundamentales en la conservación de los bosques en el área de estudio.

Agradecimientos

Junta Directiva de Bienes y Recursos Naturales de 48 Cantones.

Municipalidad de Totonicapán.

EcoLogic Development Fund.

Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

Referencias

- [1] J. Gálvez y N. Saubés, «Estado de la conservación y uso de los recursos naturales en Centroamérica,» 2015. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.conare.ac.cr/>. [Último acceso: 10 Mayo 2024].
- [2] D. Armenteras y N. Rodríguez Eraso, «Dinámicas y causas de deforestación en bosque de latino américa: una revisión desde 1990,» *SciELO*, vol. 17, nº 2, 2014.
- [3] CCDA (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, El Salvador), CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano, El Salvador), El Salvador, 2014.
- [4] W. A. Ochoa, «Variabilidad climática y cambio de uso del suelo como factores del cambio climático en la subcuenca del río Panajachel, Sololá,» Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- [5] Y. Y. Sosa Reyes, «Prospectiva de la cobertura de la tierra en la Sub Cuenca del Río Mocal, Lempira, Honduras, Centroamérica,» *Revista Ciencias Espaciales*, vol. 9, nº 1, pp. 111-132, 2016.
- [6] A. Loza-Del Carpio y I. Taype-Huamán, «Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú,» *SciELO*, vol. 35, nº 2, 2021.
- [7] H. O. Alvarado-Quiroa y F. Araya-Rodríguez, «Cambios de uso del suelo y crecimiento urbano. Estudio de caso en los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala,» vol. 27, nº 1, pp. 104-113, 2014.
- [8] CONAP, «Ficha informativa Plan Operativo Anual 2017 Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel,» Diciembre 2017. [En línea]. Disponible: <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2019/09/Direccion-Regional-Altiplano-Occidental-Altos-de-San-Miguel-Totonicap%C3%A1n.pdf>.

- [9] E. Secaira, «La conservación de la naturaleza, el pueblo y movimiento maya, y la espiritualidad en Guatemala: Implicaciones para conservacionistas,» PROARCA/CAPAS, CCAD-USAID, la iniciativa de uso sostenible de UICN, FCG y TNC, Guatemala, 2000.
- [10] INAB, «Estudio técnico del manejo tradicional del bosque municipal, Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán,» Guatemala, 1997.
- [11] CONAP, «Informe de efectividad de manejo de las áreas protegidas del SIGAP 2009-2012,» Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala, 2014.
- [12] Congreso de la República de Guatemala, *Ley de Áreas Protegidas Decreto Número 4-89*, Guatemala, 1989.
- [13] M. V. Cerezo Arévalo, *Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas Acuerdo Gubernativo No. 759-90*, Guatemala, 1990.
- [14] INAB, «Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de la cobertura forestal 2010-2016,» Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2019.
- [15] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, «Mapa de Cuencas Hidrográficas, Escala 1:50000, República de Guatemala, Método de Pfafstetter (Primera Aproximación),» Guatemala, 2009.
- [16] S. Elías Gramajo, «Autogestión comunitaria de recursos naturales Estudio de caso en Totonicapán,» Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Fondo de cultura editorial, Guatemala, 1997.
- [17] K. L. Soto González, «Diversidad de epífitas vasculares asociadas a especies de forófitos en tres rangos altitudinales del bosque nuboso del municipio de Totonicapán,» Guatemala, 2019.

- [18] MAGA/DIGEGR, «Determinación de la cobertura vegetal y uso de la tierra escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2020,» Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo-DIGER-, 2021.
- [19] I. Jiménez, «Cálculo del azimut y coordenadas,» SCRIBD, [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/89248125/Resumen-Azimut-y-Coordenadas>.
- [20] T. Boca y G. Rodríguez, «Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos,» Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2012.
- [21] M. Nolasco, E. Willington y M. Bocco, «Clasificación del uso del suelo en agricultura a partir de series temporales de imágenes LANDSAT,» *Congreso Argentino de AgroInformática*, pp. 64-73, 214.
- [22] E. d. J. Montenegro Hernández, «Atlas digital del plan regulador del cantón Alvarado, Cartago, Costa Rica,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2018.
- [23] G. Bermúdez Ruiz, «Evaluación del cambio de uso de la tierra y fragmentación de la cobertura forestal en el corredor biológico Lago Arenal Tenorio, mediante técnicas de teledetección, Costa Rica,» Universidad de Costa Rica, 2018.
- [24] M. Agustín, J. L. Acero, A. I. Aguilera y M. García Lozano, «Estudio de la urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica urbana,» Banco Mundial, Washington, DC, 2018.
- [25] A. Rodas, I. Monterroso y D. Stoian, «Dinámicas productivas en torno al cambio de uso del suelo y sus repercusiones en la Reserva de Biósfera Maya (RBM) en Petén, Guatemala,» Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR); Kenia: Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF), 2021.

- [26] J. Mercado-Mondragón, «Las consecuencias culturales de la migración y cambio identitario en una comunidad tzotzil, Zinacantán, Chiapas, México,» SciELO, Agricultura, Sociedad y Desarrollo vol.5 no.1, México, 2008.
- [27] M. Martínez y F. Ramos, «Boletín estadístico de los programas de incentivos forestales PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE 1998-2023,» Instituto Nacional de Bosques, Guatemala, 2024.
- [28] CARE Guatemala, «Informe final línea base proyecto "Conservación y restauración de ecosistemas nativos para el mantenimiento de la regulación hídrica y protección de biodiversidad en cuatro municipios de Totonicapán y Sololá",» Guatemala, 2019.
- [29] M. Johanson, *Socios conservacionistas y comunidades indígenas trabajan juntos para restaurar los bosques en Guatemala*, Guatemala: World Wildlife Fund, 2024.

CAPITULO II: FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DEL PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL TOTONICAPÁN, GUATEMALA

Fragmentación del paisaje del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala

Landscape fragmentation of the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala

Priscila Isabel Ixcotoyac-Cabrera¹

Nancy Gamboa-Badilla¹

Casia Soto-Montoya¹

Resumen

Este estudio se enfocó en el análisis de la fragmentación del paisaje en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, entre los años 1997 y 2023. A través de la aplicación de cinco métricas del paisaje (cobertura terrestre, proporción del paisaje, número de parches, área del parche más grande y área de parche más pequeña) a nivel de clase de cobertura para analizar los cambios en territorios artificializados, agrícolas, y bosques y medios seminaturales. También se utilizaron dos métricas de diversidad (Índices de Shannon y Simpson) aplicados a nivel de paisaje. Los resultados de estas métricas se obtuvieron para las imágenes satelitales Landsat 5 (1997) y Landsat 9 (2023) mediante el complemento Landscape Ecology Statistics (LecoS) de QGIS 3.34.

Los resultados para el periodo 1997-2023 revelaron un aumento significativo en la cobertura forestal y la reducción de áreas agrícolas, acompañado de una disminución en la diversidad estructural del paisaje, evidenciada por los índices de Shannon y Simpson. Estos hallazgos sugieren que, aunque las acciones de restauración forestal han mejorado la conectividad estructural en ciertas coberturas, la expansión de territorios artificializados y la reducción de la diversidad de parches continúan representando desafíos para la conservación.

Palabras clave: Área protegida, ráster, métricas del paisaje, QGIS, LecoS.

¹ Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; pixcotoyac@estudiantec.cr, ngamboa@itcr.ac.cr, csoto@itcr.ac.cr; <https://orcid.org/0009-0003-9821-6909>, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3958>, <https://orcid.org/0000-0002-2275-7317>

Abstract

This study focused on the analysis of landscape fragmentation in the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, between 1997 and 2023. Through the application of five landscape metrics (land cover, landscape proportion, number of patches, area of the largest patch, and area of the smallest patch) at the cover class level to analyze changes in artificial, agricultural, and forest and semi-natural environments. Two diversity metrics (Shannon and Simpson indices) applied at the landscape level were also used. The results of these metrics were obtained for Landsat 5 (1997) and Landsat 9 (2023) satellite images using the Landscape Ecology Statistics (LecoS) add-on of QGIS 3.34.

The results for the period 1997-2023 revealed a significant increase in forest cover and a reduction in agricultural areas, accompanied by a decrease in landscape structural diversity, as evidenced by the Shannon and Simpson indices. These findings suggest that, although forest restoration actions have improved structural connectivity in certain coverages, the expansion of artificialized territories and the reduction of patch diversity continue to represent challenges for conservation.

Keywords: Protected area, raster, landscape metrics, QGIS, LecoS.

Introducción

La fragmentación del paisaje se ha convertido en una de las principales amenazas para la biodiversidad y los ecosistemas, especialmente en áreas protegidas, que son fundamentales para la conservación de especies y la preservación de procesos ecológicos clave. En Guatemala, un país reconocido por su alta biodiversidad tanto a nivel de especie como de ecosistemas, la presión sobre los recursos naturales ha intensificado la fragmentación del paisaje debido al avance de la frontera agrícola, la expansión urbana y el desarrollo de infraestructura [1], [2], [3].

Iniciativas de conservación como el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) han intentado mitigar estos efectos mediante la conectividad entre áreas protegidas de la región; sin embargo, su implementación ha sido limitada debido a la falta de coordinación entre países y la escasa participación de actores locales [2]. En Guatemala la creación del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) con una alta concentración de áreas silvestres que cubren alrededor del 32% del territorio nacional, busca minimizar la fragmentación del paisaje mediante la conservación de ecosistemas claves [2], [4].

Si bien evitar la fragmentación del paisaje es de suma importancia para la conservación de la biodiversidad, en Guatemala existen pocos estudios que contribuyan a abordarla. Este sigue siendo un vacío de información que limita al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en la propuesta de mejores estrategias de conservación principalmente en los sitios que forman parte del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas [5].

El presente estudio se realizó en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala. La finalidad fue comparar la fragmentación del área de estudio por medio de métricas del paisaje e índices de diversidad, en el año 1997 cuando el sitio fue declarado área protegida y en el año 2023 con la información generada recientemente.

Materiales y métodos

Área de estudio: el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala tiene una extensión territorial del 12052,64 ha, ubicado en el municipio y departamento de Totonicapán, colinda al sur con el departamento de Sololá, al este con el departamento de Quiché, al norte y oeste con los municipios de Santa María Chiquimula, San Cristóbal Totonicapán, San Francisco El Alto y Momostenango del departamento de Totonicapán (Figura 1) [6]. Es parte del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas desde el año 1997, bajo la categoría de manejo Tipo IV. Esta categoría tiene como objetivo de manejo la recreación al aire libre, educación, mantenimiento de una porción o de la totalidad del camino, sendero, canal o río y de su panorama en un estado natural o seminatural, calidad del paisaje y prevención de la degradación de los recursos naturales [7].

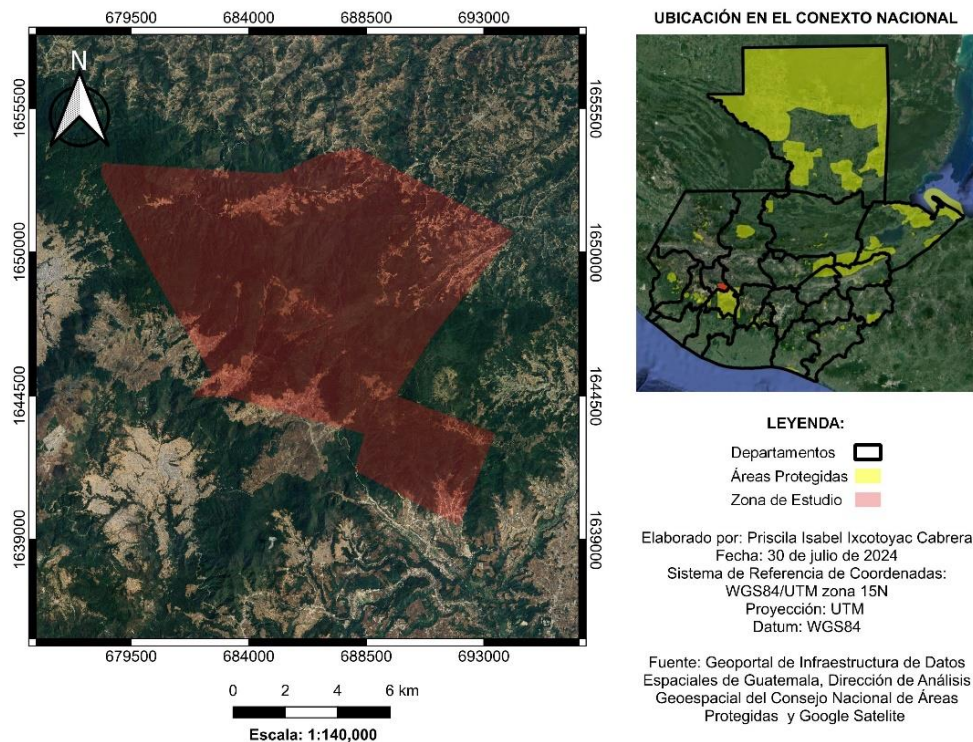


Figura 1. Mapa de ubicación de áreas protegidas de Guatemala y del área de estudio Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Figure 1. Location map of Guatemala's protected areas and the study area Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Su ubicación geográfica hace que el área de estudio sea un fragmento importante para el país, siendo la parte alta de las cuencas de los ríos Motagua, Nahualate, Salinas, Samalá y lago de Atitlán. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el sitio se encuentra en las zonas de vida bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MTB) y bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MT), caracterizadas por tener un rango altitudinal desde 1047 hasta 3960 msnm, una precipitación anual entre 901 y 2056 mm, con valores de temperatura mínima y máxima promedio anual de 6 y 18 °C. La relación entre la evapotranspiración potencial y precipitación pluvial es de 0,67 y 0,41 lo que genera condiciones que favorecen al excedente de agua en la zona. Los usos de la tierra dominantes en este territorio son bosques, agricultura anual, pastizales, matorrales y arbustos [8], [9], [10].

Este territorio se caracteriza por la dominancia de coníferas, siendo las principales el pinabete (*Abies guatemalensis*), pino blanco (*Pinus ayacahuite*), pino macho (*Pinus montezumae*), pino triste (*Pinus pseudostrobus*), pino rojo (*Pinus rudis*), pino ocote (*Pinus oocarpa*) y ciprés (*Cupressus lusitanica*). También se pueden encontrar algunas especies latifoliadas como encinos (*Quercus spp.*), alisos (*Alnus spp.*), laurel (*Persea spp.*), madrón (*Arbutus xalapensis*) y el arbusto predominante de la zona que es el arrayán (*Pernettya mucronata*) [11], [12].

En esta región existen muy pocos estudios sobre la fauna, se tienen algunos registros de especies de aves, como colibrí (*Basilinna leucotis*), chupaflor (*Lampornis viridipallens*), mosqueritos (*Empidonax affinis* y *Empidonax flavescens*), golondrina (*Notiochelidon pileata*) y zorzal (*Turdus rufitorques*). Así mismo de mamíferos, entre los que destacan la musaraña (*Cryptotis goodwini*), ratones (*Microtus guatemalensis*, *Habromys lophurus*, *Scotinomys teguina*, *Reithrodontomys sumichrasti*, *Peromyscus aztecus*, *Peromyscus levipes*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), murciélago (*Glossophaga leachii*), coyote (*Canis latrans*) y comadreja (*Mustela frenata*) [11].

Obtención de formato vectorial: se utilizó la página web de la Dirección de Análisis Geoespacial del Consejo Nacional de Áreas Protegidas, para la obtención del formato vectorial de polígonos de las zonas que conforman el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. El formato vectorial se procesó en el programa QGIS versión 3.34, proyectándolo en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM zona 15 Norte. Se seleccionó el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, y se obtuvo un formato vectorial del polígono del área de interés.

Obtención de formatos ráster: se utilizaron los resultados del estudio cambio del uso de la tierra entre los años 1997 y 2023 en el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala. Estos se encuentran disponibles en la Organización No Gubernamental Ecologic Development Fund. Obteniendo dos formatos ráster tipo GeoTIFF, con la información de los usos de la tierra [13]. Los formatos ráster se procesaron en el programa QGIS versión 3.34, proyectándolos en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM zona 15 Norte, a este proceso se le agregó el formato vectorial del área de estudio para hacer un corte de los formatos ráster de 1997 y 2023 de la zona de interés.

Obtención de métricas del paisaje: los formatos ráster de la zona de estudio se proyectaron en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM zona 15 Norte en el programa QGIS versión 3.34, donde se calcularon las métricas del paisaje (Cuadro 1) con el complemento Landscape Ecology Statistics (LecoS), utilizando los formatos ráster categorizados en tres coberturas terrestres: “territorios artificializados”, “territorios agrícolas”, “bosques y medios seminaturales”.

Cuadro 1. Métricas del paisaje aplicadas al área de estudio Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 1. Landscape metrics applied to the study area Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Nombre de la métrica en QGIS	Nombre de la métrica en español	Definición de la métrica
Land cover	Cobertura terrestre	Refleja la distribución por tipo de cobertura terrestre.
Landscape proportion	Proporción del paisaje	Proporción del área total del paisaje ocupada por cada cobertura terrestre.
Number of patches	Número de parches	Número total de parches de cada cobertura terrestre dentro del paisaje.
Greatest patch area	Área del parche más grande	Área del parche más grande de cada cobertura terrestre.
Smallest patch area	Área de parche más pequeña	Área del parche más pequeño de cada cobertura terrestre.
Shannon index	Índice de Shannon	Medición de la diversidad de clases de cobertura terrestre en el paisaje. Se basa en el número de clases y la proporción de cada clase en relación con el área total.
Simpson index	Índice de Simpson	Medición de la equidad en la distribución de las clases de cobertura terrestre en el paisaje.

Fuente: Elaboración propia con información de [14], [15], [16], [17].

Resultados

Se obtuvo un total de dos formatos del área de estudio, cada uno de ellos correspondiente a un formato ráster con una resolución de 30 m; es decir, cada píxel representa un área de 30 m por 30 m de la superficie. Estos ráster contienen la información de una clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 5 (1997) y Landsat 9 (2023). Con una exactitud global de clasificación del 98% para 1997 y 100% para 2023 se logró clasificar las coberturas terrestres en “territorios artificializados”, “territorios agrícolas”, “bosques y medios seminaturales” [13] (Figura 2).

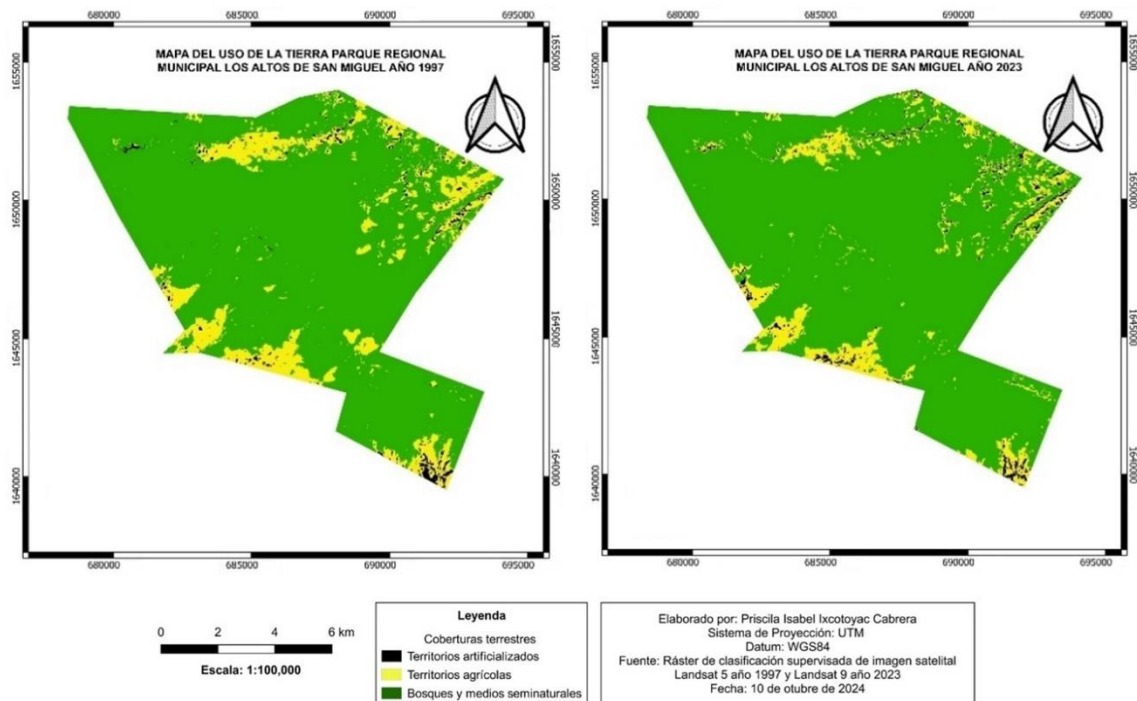


Figura 2. Distribución de las coberturas terrestres del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala para los años 1997 y 2023.

Figure 2. Distribution of land covers of the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala for the years 1997 and 2023.

Utilizando el complemento LecoS en QGIS 3.34 a cada uno de los ráster se le calculó un total de cinco métricas de paisaje por cada una de las clases de cobertura. Las métricas fueron cobertura terrestre, proporción del paisaje, número

de parches, área del parche más grande y área del parche más pequeña (Cuadro 2) y dos métricas de diversidad a nivel de paisaje que fueron el índice de diversidad de Shannon y el índice de Simpson (Cuadro 3).

Cuadro 2. Métricas del paisaje según clases de cobertura aplicadas a los ráster de 1997 y 2023 del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 2. Landscape metrics by cover classes applied to the 1997 and 2023 raster of the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Coberturas	Territorios artificializados		Territorios agrícolas				Bosques y medios seminaturales		
Métricas del paisaje	Año		Cambios	Año		Cambios	Año		Cambios
	1997	2023		1997	2023		1997	2023	
Cobertura terrestre (ha)*	178,02	215,01	36,99	1589,94	1169,10	-420,84	10285,02	10668,87	384
Proporción del paisaje (%)**	1,48%	1,78%	0,30%	13,19%	9,70%	-3,49%	85,33%	88,52%	3,19%
Número de parches	321	355	34	457	523	66	72	63	-9
Área del parche más grande (ha)*	36,90	21,60	-15,30	309,60	206,73	-102,87	10215,90	10603,44	387,54
Área del parche más pequeña (ha)*	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,00
Nota:									
*Los resultados obtenidos en QGIS están dados en metros cuadrados por lo que se dividieron entre 10000 para obtener el dato en hectáreas.									
**Los resultados obtenidos en QGIS se multiplicaron por 100 para obtener el valor en porcentaje.									

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Métricas de diversidad del paisaje y valores de cambios, aplicadas a los ráster de los años 1997 y 2023 del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Table 3. Landscape diversity metrics and change values, applied to the 1997 and 2023 raster of the Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Métrica de diversidad del paisaje	Año		Cambios
	1997	2023	
Índice de Shannon	0,9360	0,6334	-0,3026
Índice de Simpson	0,5688	0,3581	-0,2107

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los resultados del análisis de la comparación de las métricas del paisaje y de diversidad obtenidas para el Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala muestran cambios significativos en las coberturas terrestres entre 1997 y 2023. Lo anterior refleja que dentro de esta área protegida se continúan dando dinámicas de cambio de uso de la tierra, que a futuro podrían tener implicaciones significativas en la fragmentación del paisaje.

Los resultados muestran que, en los años analizados, la cobertura de bosques y medios seminaturales tiene el aumento más significativo de 3,19% (384 ha). También existe un aumento mínimo en los territorios artificializados de 0,30% (36,99 ha) y una disminución en los territorios agrícolas de 3,49% (420,84 ha). Estas dinámicas de cambios tanto positivos como negativos en las métricas del paisaje, sugieren un aumento en la proporción y cobertura de bosques y medios seminaturales, lo cual conduce a tener un paisaje más homogéneo, debido a que esta cobertura es la que predomina en el área de estudio con 85,33% (10285,02 ha) para 1997 y 88,52% (10668,87 ha) para 2023. Sin embargo, debe llamar la atención la expansión de los territorios artificializados, puesto que no contribuye a

la conectividad del paisaje. Y por su parte los territorios agrícolas, que de alguna manera podrían contribuir con la conectividad del paisaje han ido disminuyendo.

El aumento del número de parches en las coberturas de territorios artificializados (34) y territorios agrícolas (66) sugieren una mayor fragmentación del paisaje. Esto también se reflejó en la disminución del área del parche más grande en los territorios artificializados de 15,30 ha y en los territorios agrícolas de 102,87 ha. Estos datos reflejan que en este tipo de coberturas se está dando una dinámica de mosaicos más dispersos, lo que tiende a fragmentar las coberturas en parches más pequeños y menos conectados. Por el contrario, en el caso de los bosques y medios seminaturales, donde la disminución en el número de parches fue de 9 y el incremento del área del parche más grande correspondió a 387,54 ha, resulta ser positivo, ya que estos datos reflejan una mejoría significativa en la conectividad de esta cobertura en el paisaje analizado.

En cuanto al área del parche más pequeño para los tres tipos de cobertura terrestre el resultado fue de 0,09 ha, esto es igual a un píxel, el cual no tuvo variaciones en los años y sugiere que siempre han existido parches de tamaño mínimo.

Los resultados de los índices de diversidad muestran una disminución significativa en ambos indicadores. El índice de diversidad de Shannon cayó de 0,9360 en 1997 a 0,6334 en 2023, lo que indica una reducción en la heterogeneidad del paisaje. Este cambio puede estar asociado a la dinámica de mosaicos más pequeños y dispersos en las coberturas de territorios artificializados y territorios agrícolas, comparado con un aumento en el área del parche más grande y en la disminución de número de parches de bosques y medios seminaturales, repercutiendo en un paisaje más homogéneo, dominado por este tipo de cobertura. El índice de Simpson, también mostró una disminución de 0,2107, tenido un valor aún más pequeño para el 2023 (0,3581), reforzando que la clase de bosques y medios seminaturales es la que domina el paisaje.

Un estudio realizado en México, el cual analizó el cambio en la conectividad estructural del paisaje entre los años 1975 y 2008 en la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán reportó datos similares en cuanto al aumento en el porcentaje de áreas ocupadas por bosques, semejante a los resultados obtenidos en este estudio. El mayor aumento se presentó en los bosques y medios seminaturales, debido a procesos de restauración natural y asistida que puede estarse dando en áreas que anteriormente se utilizaban para cultivos y que fueron abandonadas. Estos procesos tienden a favorecer la conectividad estructural del paisaje. Otro dato que mostró el estudio para algunas clases de cobertura fue la reducción en los tamaños de parche y el aumento en el número de parche, característicos de coberturas heterogéneas y fragmentadas, semejante a lo que sucede con los territorios artificializados y territorios agrícolas del presente estudio. Caso contrario con los bosques y medios seminaturales, donde el tamaño del parche aumentó y el número de parches disminuyó, evidenciando una cobertura homogénea y conectada estructuralmente [18].

En relación con las métricas de diversidad, otro estudio realizado en México, el cual aplicó sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, mostró una tendencia ascendente en los resultados de los índices de Shannon y Simpson, reflejando la existencia de un paisaje fragmentado y heterogéneo. Caso contrario con los resultados del presente estudio, donde los índices mostraron una tendencia descendente, resultado de un paisaje menos fragmentado y más homogéneo [19].

Conclusiones

Los resultados reflejan la dominancia de la clase de cobertura de bosques y medios seminaturales en los dos años de estudio, con un 85,33% en 1997 y del 88,52% para el 2023. Esto representa que ha habido un aumento del 3,19% en 26 años, lo que sugiere un proceso de recuperación de esta cobertura, teniendo un efecto positivo en la conectividad estructural del paisaje, al ser una cobertura más homogénea y menos fragmentada.

Se observa una fragmentación significativa en los territorios artificializados y territorios agrícolas. Para estos tipos de cobertura el número de parches aumentó, reflejando una tendencia hacia un mayor aislamiento de los parches, lo cual podría tener efectos negativos en la biodiversidad y la funcionalidad del paisaje.

La disminución de los índices de Shannon y Simpson evidencia una mayor homogeneidad en el paisaje, con una clara dominancia de los bosques y medios seminaturales. Para este estudio este cambio resulta ser positivo para el punto de vista de la conectividad ecológica, ya que contribuye a mantener la biodiversidad.

Los hallazgos de este estudio subrayan la necesidad de implementar estrategias de gestión que consideren no solo la protección de áreas forestales, sino también la mitigación y ordenación de la expansión de territorios artificializados y la recuperación de tierras agrícolas.

Agradecimientos

EcoLogic Development Fund.

Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

Referencias

- [1] C. Rosero, X. Otero, C. Bravo y C. Frey, «Incidencia multitemporal de la fragmentación del paisaje en un área protegida de los Andes centrales del Ecuador,» *Land* 12, No. 2: 500; <https://doi.org/10.3390/land12020500>, 2023.
- [2] I. M. McCullough, C. Beirne, C. Soto Navarro y A. Whitworth, «Mapeo de corredores de adaptación climática para la biodiversidad: un estudio de caso a escala regional en América Central,» *PLOS ONE*; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304756>, 2024.
- [3] J. Hilty, G. L. Worboys, A. Keeley, S. Woodley, B. Lausche, H. Locke, M. Carr, I. Pulsford, J. Pittock, J. W. White, D. M. Theobald, J. Levine, M. Reuling, J. E. Watson, R. Ament, G. M. Tabor y C. Groves, «Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. Serie directrices para buenas prácticas en áreas protegidas.,» UICN, No. 30; <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.es>, 2021.
- [4] P. Cuenca, «¿Cómo cambian los paisajes protegidos asociados con altos niveles de biodiversidad y población?,» *PLOS ONE*; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180537>, 2017.
- [5] S. V. Ortiz de León, «Evaluación de la conectividad entre tres reservas naturales privadas en la región sur del Lago de Atitlán,» Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2016.
- [6] E. Secaira, «La conservación de la naturaleza, el pueblo y movimiento maya, y la espiritualidad en Guatemala: Implicaciones para conservacionistas,» PROARCA/CAPAS, CCAD-USAID, la iniciativa de uso sostenible de UICN, FCG y TNC, Guatemala, 2000.
- [7] M. V. Cerezo Arévalo, «Reglamento de Ley de Áreas Protegidas, Acuerdo Gubernativo 759-90,» 1990.

- [8] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, «Mapa de Cuencas Hidrográficas, Escala 1:50000, República de Guatemala, Método de Pfafstetter (Primera Aproximación),» Guatemala, 2009.
- [9] Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar, «Ecosistemas de Guatemala basado en el sistema de clasificación de zonas de vida de.,» Guatemala, 2018.
- [10] Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, «Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001-2010 para estimaciones de gases de efecto invernadero,» Guatemala, 2014.
- [11] INAB, «Estudio técnico del manejo tradicional del bosque municipal, Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán,» Guatemala, 1997.
- [12] S. Elías Gramajo, «Autogestión comunitaria de recursos naturales Estudio de caso en Totonicapán,» Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Fondo de cultura editorial, Guatemala, 1997.
- [13] P. I. Ixcotoyac-Cabrera, N. Gamboa-Badilla y C. Soto-Montoya, «Cambio de uso de la tierra entre los años 1997 y 2023, Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2024.
- [14] N. Cáceres Novoa, F. Meneses Jiménez, J. Fuenzalida Carrión, O. Vidal Ojeda y J. Bannister Hepp, «Diagnóstico del estado actual de los bosques nativos de las islas menores de la región de los Lagos, Chile,» Ciencia & Investigación Forestal Vol. 29, No. 3, Chile, 2023.
- [15] L. F. Hinostroza Medina, «Análisis del grado de fragmentación del paisaje mediante herramientas de información geográfica y teledetección en el distrito de Huaricolca (Tarma-Junín),» Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú, 2021.

- [16] J. R. Bannister, R. Urrutia-Jalabert, G. Travieso y N. Galindo, «Estado de conservación de *Fitzroya cupressoides* en la región de Los Lagos, Chile. Desafíos para su conservación y restauración,» Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile, Volumen 26, No. 2, Chile, 2020.
- [17] G. Bermúdez Ruiz, «Evaluación del cambio de uso de la tierra y fragmentación de la cobertura forestal en el corredor biológico Lago Arenal Tenorio, mediante técnicas de teledetección, Costa Rica,» Universidad de Costa Rica, 2018.
- [18] C. A. Correa Ayram, M. E. Mendoza y E. López Granados, «Análisis de cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México,» ScieLO, Revista de geografía Norte Grande versión On-line ISSN 0718-3402 No. 59, 2014.
- [19] G. D. León Mata, A. Pinedo Álvarez y J. H. Martínez Guerrero, «Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México,» Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Volumen 2014, Issue 84, 2014.

**CAPITULO III: PROPUESTA DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN DEL
PARQUE REGIONAL MUNICIPAL LOS ALTOS DE SAN MIGUEL
TOTONICAPÁN, GUATEMALA**

Propuesta de acciones de conservación del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala

Breve descripción del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala

El Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala tiene una extensión territorial de 12053,64 ha, ubicado en el municipio y departamento de Totonicapán. Declarada área protegida mediante resolución municipal 35-97 del 1 de agosto de 1997 e inscrita por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) por resolución 102-97 del 13 de agosto del mismo año [1], [2], [3].

Este es un fragmento importante para el país, por ser parte alta de las cuencas de los ríos Motagua, Nahualate, Salinas, Samalá y lago de Atitlán y por ser uno de los bosques de coníferas mejor conservado, siendo los bosques el uso de la tierra dominante en este territorio, seguido por agricultura anual, pastizales, matorrales y arbustos [1], [4], [5],

Es parte del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) desde el año 1997, bajo la categoría de manejo Tipo IV. Esta categoría tiene como objetivo de manejo la recreación al aire libre, educación, mantenimiento de una porción o de la totalidad del camino, sendero, canal o río y de su panorama en un estado natural o seminatural, calidad del paisaje y prevención de la degradación de los recursos naturales [6].

Propuesta de acciones de conservación

La propuesta de acciones de conservación que se enlistan en el Cuadro 1 están orientadas a ser ejecutadas de manera conjunta por el CONAP, Municipalidad de Totonicapán, Instituto Nacional de Bosques (INAB), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Ministerio de Educación (MINEDUC) y Organizaciones No Gubernamentales con influencia en el territorio donde se encuentra ubicada el área protegida.

Cuadro 1. Propuesta de acciones de conservación del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala, organizadas por componentes.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
Administrativo-legal	La Ley de Áreas Protegidas Decreto No.4-89 y sus Reformas, así como el Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas Acuerdo Gubernativo 759-90, establecen que para la gestión de un área protegida es necesario contar con los documentos que se proponen en este componente.	Establecer los instrumentos administrativos y legales que orienten el manejo del área protegida con base en lo establecido en la Ley y el Reglamento de áreas protegidas.	1.Actualización del Estudio técnico del área protegida según los lineamientos establecidos en el artículo 11 del Reglamento de la ley de áreas protegidas. 2.Elaboración del Plan maestro del área protegida según los lineamientos dados por el instructivo elaborado por el CONAP.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
			3.Elaboración de Planes operativos anuales con base en las directrices del plan maestro del área protegida. 4.Asignación presupuestaria anual acorde con los planes operativos anuales del área protegida. 5.Elaboración de informes anuales de la operativización y seguimiento de los planes operativos anuales del área protegida.
Organización comunitaria	La organización comunitaria ha sido clave para mantener la cobertura forestal del área protegida por medio de prácticas ancestrales	Fortalecer la organización comunitaria para la preservación de las prácticas ancestrales relacionadas con	1.Apoyo en la actualización e implementación de las normas y reglamentos comunitarios relacionados con la conservación de los recursos naturales.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
	relacionadas con la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, por conversaciones con actores claves, estas prácticas se han ido perdiendo con el paso del tiempo, por no ser incluidas en los procesos de toma de decisiones.	la conservación de los recursos naturales.	2.Apoyo a la preservación del servicio comunitario llamado k'axk'ol realizado para la protección y conservación de los bosques de 48 cantones. 3.Involucramiento de las organizaciones comunitarias en los procesos de toma de decisiones sobre el manejo sostenible del área protegida.
Alianzas estratégicas	En el área de influencia del área protegida convergen diferentes instituciones que desarrollan actividades para la conservación del área protegida. Sin embargo, lo hacen de manera individual, duplicando esfuerzos en	Desarrollar acciones de colaboración entre diferentes instituciones (organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, comunidades locales, sector privado y academia) para el aseguramiento de la	1.Establecimiento de las directrices generales de acción para las instituciones con influencia en el área protegida y sus alrededores. 2.Firma de convenios de cooperación entre las diferentes

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
	algunas actividades y dejando desatendidas otras.	efectividad de las estrategias de conservación.	instituciones con influencia en el área protegida y sus alrededores.
Gestión de conflictos	Con base en las conversaciones con actores claves, el interés primordial de las comunidades del territorio del área protegida ha sido la conservación del bosque. Sin embargo, en los últimos años miembros de algunas comunidades han tenido interés en extraer productos maderables y no maderables del bosque.	Establecer mecanismos para la resolución de conflictos entre los diferentes intereses que tienen las comunidades del territorio del área protegida.	1.Creación de mesas de diálogo con las comunidades locales para llegar a acuerdos sobre el uso del territorio dentro del área protegida. 2.Elaboración de un compilado de los principales acuerdos tomados en las mesas de diálogo para las futuras acciones.
Manejo sostenible	Durante el trabajo de campo se observó que actualmente las acciones de control y vigilancia no se realizan en la totalidad del área protegida, también que existen pocas	Implementar prácticas de manejo sostenible que contribuyan con el cumplimiento del objetivo general de creación del área protegida.	1.Establecimiento de un programa de monitoreo (control y vigilancia) que cubra la totalidad del área protegida.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
	prácticas de sanidad forestal, prevención de incendios forestales, reforestaciones con pocas especies forestales que son producidas en los viveros comunitarios. Sumado a esto los resultados del presente estudio revelan que siguen existiendo dinámicas de cambio de uso de la tierra que contribuyen a la fragmentación del paisaje, por lo que se deben establecer acciones para un manejo sostenible del área protegida que contribuya a mantener la conectividad.		2. Identificación de áreas afectadas por plagas y enfermedades forestales en el área protegida para el establecimiento de un programa de sanidad forestal. 3. Establecimiento de un programa de prevención de incendios forestales en los bosques y medios seminaturales del área protegida. 4. Diversificación, en los viveros comunitarios, de la producción de especies forestales que se encuentran en los bosques del área protegida.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
			5.Implementación de programas de reforestación, restauración pasiva y activa, podas y raleos que contribuyan a la conservación, recuperación y mantenimiento de la cobertura forestal dentro del área protegida. 6.Promoción de los programas de incentivos forestales con las comunidades y propietarios individuales de los bosques. 7.Promoción del establecimiento de sistemas agroforestales en los territorios agrícolas, que contribuyan con la conservación del paisaje natural.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
			8.Elaboración de un marco normativo de ordenamiento para la ampliación de los territorios artificializados.
Turismo sostenible	Durante el trabajo de campo y conversaciones con actores claves se observó que dentro del área protegida existen espacios que tienen un valor histórico y cultural que pueden ser utilizados como atractivos turísticos.	Desarrollar un plan de manejo del turismo sostenible que minimice los impactos negativos en el ambiente y genere beneficios económicos para las comunidades locales.	1.Identificación de espacios con valores histórico y cultural para las comunidades locales dentro del área protegida. 2.Elaboración de rutas turísticas con base en los valores históricos y culturales identificados dentro del área protegida. 3.Elaboración de un plan de manejo de turismo con base en las rutas turísticas establecidas, que permita tener una actividad económica a las comunidades y

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
			que apoyen las actividades de mantenimiento del área protegida.
Programas educativos	Con base en conversaciones con los guardarecursos sobre las actividades que realizan, se evidenció la necesidad de crear programas de capacitación para que puedan desarrollar sus actividades de control y vigilancia de manera técnica. De tal forma que generen información relevante que contribuya con la toma de decisiones. Sumado a esto, en conversaciones con actores claves se evidenció la necesidad de crear programas de educación ambiental que permitan concientizar a la población con mayor	Crear programas de educación ambiental que contribuyan con el manejo sostenible del área protegida.	1.Diseño e implementación de un programa para la formación constante de los guardarecursos que desarrollan actividades de control y vigilancia en el área protegida. 2.Diseño e implementación de un programa a desarrollarse en centros educativos de preprimaria, primaria, básico y diversificado sobre la importancia de la conservación del área protegida y posibles acciones con las que se puede contribuir. 3.Diseño e implementación de un programa de educación no formal

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
	influencia en el área protegida, sobre acciones que pueden realizarse para conservar el sitio.		para concientizar a la población que tiene influencia directa en el área protegida, sobre la importancia de la conservación del área protegida y acciones con las que se puede contribuir.
Investigación	Durante la búsqueda de información científica del área protegida se evidenció la carencia de estudios, así como la falta de socialización de los resultados de estudios que se han realizado.	Promover el desarrollo de investigaciones que contribuyan con el conocimiento del área protegida y las acciones de conservación.	1. Obtener información de la diversidad de flora y fauna del área protegida, así como de los servicios ecosistémicos que genera el ecosistema. 2. Mantener estudios del uso y coberturas de la tierra, así como otras investigaciones que se realicen en el área protegida con la finalidad de contar con monitoreos constantes e información actualizada.

Componente	Justificación	Objetivo	Acciones
			3.Sistematización de las prácticas ancestrales que contribuyen con el mantenimiento del área protegida. 4.Divulgación de los resultados de las investigaciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de plan de acción para las acciones de conservación

Priorización de acciones de conservación: según la urgencia y el impacto de las acciones en la conservación del área protegida, se propone priorizarlas de la siguiente manera:

- Corto plazo (0-2 años):
 - Actualización del Estudio Técnico.
 - Elaboración del Plan Maestro y Planes Operativos Anuales.
 - Asignación presupuestaria anual.
 - Fortalecimiento de la organización comunitaria en relación con conservación de los recursos naturales.
 - Implementación de un programa de monitoreo (control y vigilancia) que cubra la totalidad del área protegida.
 - Diversificación de la producción de especies forestales en los viveros comunitarios.
 - Desarrollo de programas de educación ambiental con guardabosques, escuelas y comunidades locales.

- Mediano plazo (2-5 años):
 - Elaboración de informes anuales de la operativización y seguimiento de los planes operativos anuales.
 - Establecimiento de alianzas estratégicas entre diferentes instituciones que convergen en el territorio del área protegida.
 - Creación de mesas de diálogo con las comunidades locales.
 - Implementación de programas de sanidad forestal, prevención de incendios forestales, reforestación y restauración.
 - Promoción de sistemas agroforestales sostenibles.
 - Implementación del marco normativo de ordenamiento territorial.
 - Desarrollo y divulgación de investigaciones científicas.

- Largo plazo (más de 5 años):
 - Establecimiento de un sistema de incentivos económicos para la conservación.
 - Desarrollo de un plan de manejo del turismo sostenible.

Asignación de responsabilidades: en el Cuadro 2 se presenta una propuesta de instituciones responsables y posibles colaboradores para la ejecución de las acciones de conservación.

Cuadro 2. Propuesta de responsables y colaboradores para la ejecución de las acciones de conservación del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala.

Acción	Responsable principal	Colaboradores
Actualización del Estudio Técnico.	CONAP, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias, universidades, ONG
Elaboración del Plan Maestro y Planes Operativos Anuales.	CONAP, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias, universidades, ONG
Asignación presupuestaria anual.	Municipalidad de Totonicapán	CONAP
Fortalecimiento de la organización comunitaria en relación con conservación de los recursos naturales.	Organizaciones comunitarias, Municipalidad de Totonicapán	Universidades, ONG
Implementación de un programa de monitoreo (control y vigilancia) que cubra la totalidad del área protegida.	CONAP, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias, ONG

Acción	Responsable principal	Colaboradores
Diversificación de la producción de especies forestales en los viveros comunitarios.	Organizaciones comunitarias	Municipalidad de Totonicapán, INAB, ONG
Desarrollo de programas de educación ambiental con guardabosques, escuelas y comunidades locales.	CONAP, MINEDUC, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias, universidades, ONG
Elaboración de informes anuales de la operativización y seguimiento de los planes operativos anuales.	Municipalidad de Totonicapán	CONAP
Establecimiento de alianzas estratégicas entre diferentes instituciones que convergen en el territorio del área protegida.	Municipalidad de Totonicapán, organizaciones comunitarias	ONG
Creación de mesas de diálogo con las comunidades locales.	Municipalidad de Totonicapán, organizaciones comunitarias	ONG
Implementación de programas de sanidad forestal, prevención de incendios forestales,	CONAP, Municipalidad de Totonicapán, organizaciones comunitarias	INAB, universidades, ONG

Acción	Responsable principal	Colaboradores
reforestación y restauración.		
Promoción de sistemas agroforestales sostenibles.	MAGA, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias, universidades, ONG
Implementación del marco normativo de ordenamiento territorial.	Secretaría de Planificación y de Programación, Municipalidad de Totonicapán	Organizaciones comunitarias
Desarrollo y divulgación de investigaciones científicas.	CONAP, universidades	Municipalidad de Totonicapán, organizaciones comunitarias, ONG
Establecimiento de un sistema de incentivos económicos para la conservación.	CONAP, INAB, Ministerios de Finanzas	Propietarios individuales y colectivos de la tierra
Desarrollo de un plan de manejo del turismo sostenible.	CONAP, Municipalidad de Totonicapán, organizaciones comunitarias	Instituto Guatemalteco de Turismo, universidades, ONG

Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones para la implementación de las acciones de conservación

Se sugiere a los ejecutores de la propuesta de conservación tomar en cuenta las acciones complementarias que se en listan a continuación, para poder implementar las acciones de conservación.

Cronograma: establecer un cronograma detallado para cada una de las acciones, considerando los recursos disponibles y las prioridades establecidas. Este cronograma puede ser elaborado de manera conjunta por el CONAP y la Oficina Forestal de la Municipalidad de Totonicapán y debe ser revisado y actualizado periódicamente.

Presupuesto: será necesario realizar una estimación de los costos asociados a cada acción, identificando las posibles fuentes de financiamiento, como:

- Presupuesto nacional: Asignaciones presupuestarias de las instituciones involucradas.
- Cooperación internacional: Fondos de agencias de cooperación y bancos de desarrollo.
- Donaciones: Fondos de organizaciones no gubernamentales y fundaciones.
- Mecanismos de financiamiento basados en resultados: Pagos por servicios ambientales, bonos de carbono.

Monitoreo y evaluación: es importante establecer un sistema de monitoreo y evaluación para recopilar datos sobre la implementación del plan de acción y los resultados obtenidos. Los resultados de la evaluación servirán para ajustar las estrategias y mejorar la efectividad del plan.

Indicadores de éxito: se deben definir un conjunto de indicadores clave de éxito, claros y medibles para evaluar el progreso de cada acción y el logro de los objetivos generales del plan de conservación.

Participación comunitaria: es fundamental involucrar a las comunidades locales en todas las etapas del proceso de planificación e implementación.

Enfoque adaptativo: el plan de acción debe ser flexible y adaptable a las condiciones cambiantes del entorno.

Comunicación y difusión: es importante comunicar los avances y logros del plan de acción a todas las partes interesadas.

Referencias

- [1] E. Secaira, «La conservación de la naturaleza, el pueblo y movimiento maya, y la espiritualidad en Guatemala: Implicaciones para conservacionistas,» PROARCA/CAPAS, CCAD-USAID, la iniciativa de uso sostenible de UICN, FCG y TNC, Guatemala, 2000.
- [2] P. I. Ixcotoyac-Cabrera, N. Gamboa-Badilla y C. Soto-Montoya, «Cambio de uso de la tierra entre los años 1997 y 2023, Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2024.
- [3] CONAP, «Informe de efectividad de manejo de las áreas protegidas del SIGAP 2009-2012,» Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala, 2014.
- [4] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, «Mapa de Cuencas Hidrográficas, Escala 1:50000, República de Guatemala, Método de Pfafstetter (Primera Aproximación),» Guatemala, 2009.
- [5] Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, «Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001-2010 para estimaciones de gases de efecto invernadero,» Guatemala, 2014.
- [6] M. V. Cerezo Arévalo, «Reglamento de Ley de Áreas Protegidas, Acuerdo Gubernativo 759-90,» 1990.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de esta investigación revelan cambios significativos en el uso de la tierra del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán, Guatemala entre 1997 y 2023. La expansión de áreas urbanas en un 22%, principalmente en forma de infraestructura de vivienda y servicios, se identifica como un factor que contribuye a la presión sobre el territorio, esto junto a la disminución de tierras agrícolas en un 26%, son tendencias observadas en otros paisajes de Centroamérica. Si bien se ha observado un aumento del 4% en la cobertura forestal, gracias en gran medida a los esfuerzos de las comunidades locales, la fragmentación del paisaje sigue siendo un desafío importante.

La fragmentación del paisaje ha provocado una pérdida de conectividad entre los hábitats, esto puede tener consecuencias negativas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del área protegida. Esta dinámica reduce la diversidad estructural del paisaje y genera un mosaico de parches más pequeños y aislados, restringiendo la movilidad de especies y pudiendo aumentar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a perturbaciones.

Para garantizar la conservación a largo plazo del área protegida, se recomienda implementar estrategias integradas que incluyan el fortalecimiento de la gobernanza, manejo sostenible, restauración de ecosistemas, educación ambiental, investigación científica, monitoreo y evaluación de las acciones de conservación, a fin de combinar la protección de los recursos naturales con el desarrollo sostenible de las comunidades locales

RECOMENDACIONES GENERALES

Con base a la experiencia desarrollada durante la ejecución del presente estudio se proponen las siguientes recomendaciones para ser tomadas en cuenta en la realización de estudios similares sobre usos de la tierra, siempre y cuando sea posible con base en los objetivos y las condiciones del área de estudio.

Realizar una distribución de los transectos de tal forma que abarquen de manera uniforme los diferentes usos de la tierra en el área de estudio.

Incrementar los puntos de observación para usos de la tierra que son similares, con la finalidad de poder crear más áreas de entrenamiento en las clases con tendencia a confundirse y poder hacer un mejor entrenamiento del algoritmo de clasificación.

Si son estudios de cambios de uso de la tierra de años superiores al 2014, se sugiere utilizar imágenes que tengan una mayor resolución espacial, como las Sentinel-2 con resolución espacial de 10 m x 10 metros por píxel, lo cual podría permitir tener un mejor detalle del área de estudio.

En áreas homogéneas con predominancia de bosques, se sugiere incluir para el análisis aspectos de estado actual de los bosques en temas de sanidad y manejo, para así poder tener más elementos que aporten a la propuesta de acciones de conservación.

REFERENCIAS GENERALES

- [1] Congreso de la República de Guatemala, *Ley de Áreas Protegidas Decreto Número 4-89*, Guatemala, 1989.
- [2] M. V. Cerezo Arévalo, *Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas Acuerdo Gubernativo No. 759-90*, Guatemala, 1990.
- [3] E. Secaira, «La conservación de la naturaleza, el pueblo y movimiento maya, y la espiritualidad en Guatemala: Implicaciones para conservacionistas,» PROARCA/CAPAS, CCAD-USAID, la iniciativa de uso sostenible de UICN, FCG y TNC, Guatemala, 2000.
- [4] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, «Mapa de Cuencas Hidrográficas, Escala 1:50000, República de Guatemala, Método de Pfafstetter (Primera Aproximación),» Guatemala, 2009.
- [5] F. J. Recancoj Escobar, Interviewee, *Análisis de vacíos de información del Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel Totonicapán*. [Entrevista]. Febrero 2023.
- [6] CONAP, «Informe de efectividad de manejo de las áreas protegidas del SIGAP 2009-2012,» Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala, 2014.
- [7] CONAP, «Ficha informativa Plan Operativo Anual 2017 Parque Regional Municipal Los Altos de San Miguel,» Diciembre 2017. [En línea]. Disponible: <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2019/09/Direccion-Regional-Altiplano-Occidental-Altos-de-San-Miguel-Totonicap%C3%A1n.pdf>.
- [8] INAB, «Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de la cobertura forestal 2010-2016,» Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2019.