



Análisis de Fragmentación del Bosque Húmedo Tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, Cauca.

Viviana Marcela Chicangana Ramírez

Jhon Harol López Pérez

Diana Marcela Quintero García

Eider Antonio Montenegro Ortega

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesora: María Camila Betancourth Ossa, Especialista (Esp) en SIG

Asesores de recursos académicos: Diego Alejandro Soto Herrera (asesor bibliográfico), Claudia Marcela Cerón Rubio (asesora Centro de Escritura) y Elvia Lucía Sánchez García (asesora de integridad académica)

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual
Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita	Chicangana R V.M &. López P J.H, Quintero G D.M, Montenegro O E.A., (2025).
Referencia	Chicangana R V.M &. López P J.H, Quintero G D.M, Montenegro O E.A., (2025). <i>Análisis de Fragmentación del Bosque Húmedo Tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, Cauca.</i> [Trabajo de grado especialización].
Estilo APA 7 (2020)	Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.

Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual, Seleccione cohorte posgrado

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Línea de Investigación Territorios Inteligentes y Sostenibles.

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [ChatGPT, Copilot, entre otras], de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

Revistas: <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

Fondo Editorial: <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A todos los que, de una u otra forma, aportaron a este proceso. Este trabajo es el reflejo de una red de apoyo, paciencia y conocimiento compartido.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a quienes hicieron posible la realización de esta tesis. A nuestras familias, por su apoyo constante y su confianza inquebrantable. A nuestros esposos/as, por su compañía, comprensión y aliento a lo largo de este proceso. A nuestros directores/as de tesis, Maria Camila Betancourth Ossa, por su valiosa orientación y compromiso académico. Y a todas las personas e instituciones que contribuyeron de alguna manera al desarrollo de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción.....	12
2. Planteamiento del problema de investigación y su justificación	14
2.1 Descripción del área problemática.....	14
2.2 Formulación del problema	15
2.3 Antecedentes	16
3. Justificación	22
4. Objetivos.....	23
4.1 Objetivo general.....	23
4.2 Objetivos específicos	23
5. Hipótesis	24
5.1 Hipótesis de trabajo.....	24
5.1.1 Hipótesis nula.	24
5.1.1.1 Hipótesis alterna.	24
5.1.1.1.1 Variables.	24
6. Referente normativo y legal.....	25
7. Referente teórico.....	26
8. Metodología	31
8.1 Enfoque metodológico.....	31
8.2 Tipo de estudio.....	32
8.3 Procedimiento	32
8.3.1 Fase 1: Caracterizar las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes.	32

8.3.1.1 Alistamiento de la información:.....	32
8.3.1.2 Búsqueda de fuentes de imágenes:	32
8.3.1.3 Selección de coberturas a clasificar:.....	33
8.3.1.4 Generación de muestras:	33
8.3.2 Fase 2: Analizar los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema.	34
8.3.2.1 Realizar la clasificación supervisada:	34
8.3.2.2 Validación visual de la Clasificación:	34
8.3.3 Fase 3: Analizar indicadores de estudios previos para calcular e interpretar los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique..	34
8.3.3.1 Realizar una revisión de estudios previos sobre la fragmentación del bosque húmedo tropical, para aplicar los más adecuados al caso de estudio.	35
8.3.3.2 Definir y seleccionar los indicadores más relevantes y aplicables para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique:	35
8.3.3.3 Calcular e interpretar los indicadores de fragmentación para comprender el estado del bosque en términos de conectividad ecológica y su potencial para la conservación.	35
8.3.4 Fase 4: Identificar áreas prioritarias para la conservación y mitigación en función de los resultados del análisis de fragmentación.....	35
9. Resultados	37
9.1 Fase 1. Caracterizar las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes.	37
9.1.1. Actividad 1. Alistamiento de la información del área de estudio.....	37
9.1.2 Actividad 2 Búsqueda de fuentes de imágenes	38
9.1.3 Actividad 3 Selección de coberturas a clasificar	38
9.1.4 Actividad 4 Generación de muestras.	39
9.2 Fase 2 Análisis de los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema	40
9.2.1 Actividad 5 realizar la clasificación supervisada	40

9.2.2 Actividad 6 Validación visual de la Clasificación.	42
9.3 Fase 3. Identificar y revisar indicadores para calcular e interpretar los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.....	43
9.3.1 Actividad 1 Revisar estudios previos sobre la fragmentación del bosque húmedo tropical, para aplicar los más adecuados al caso de estudio.	43
9.3.2 Actividad 2 Definir y seleccionar los indicadores más relevantes y aplicables para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.	44
9.3.3 Actividad 3	46
Año 2020.....	53
Año 2024.....	53
9.4 Fase 4. Identificar áreas prioritarias para la conservación y mitigación en función de los resultados del análisis de fragmentación.....	54
10. Discusión de resultados.....	55
10.1 Con base en el análisis de los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema.....	55
10.3 Análisis de Coberturas Identificadas	55
10.4 De acuerdo los indicadores seleccionados para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.	56
10.4.1 El índice de Patton:.....	56
10.4.2 Índice de compactación:	56
10.4.3 Índice de Continuidad (FCI).....	57
10.4.4 Impacto de la Fragmentación	57
11. Conclusiones.....	58
12. Recomendaciones	60
13. Referencias.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. Descarga de Imágenes Satelitales PlanetScope	38
Tabla 2. Coberturas Seleccionadas para la Clasificación Supervisada.....	38
Tabla 3. Estadística de la clasificación de coberturas agosto 2024	42
Tabla 4. Estadística de clasificación de coberturas septiembre 2020.	42
Tabla 5. Resultados del índice de Patton para el año 2020.....	48
Tabla 6. Resultados del índice de Patton para el año 2024.....	48
Tabla 7. Índice de compactación para el año 2020.....	51
Tabla 8. Índice de compactación para el año 2024.....	51

Lista de figuras

Imagen 1. Área de Estudio.....	15
Imagen 2. Imagen de Coberturas	16
Imagen 3. Georreferenciación del Polígono SHP del Parque Nacional Natural Munchique.	37
Imagen 4. Muestras tomadas de la imagen satelital de septiembre del año 2020.....	39
Imagen 5. Muestras tomadas de la imagen satelital de agosto del año 2024.....	39
Imagen 6. Clasificación supervisada del mes de agosto 2024.....	40
Imagen 7. Clasificación supervisada del mes de septiembre de 2020.....	41
Imagen 8. Cálculo Índice de Patton Año 2020.....	47
Imagen 9. Cálculo Índice de Patton Año 2024.....	48
Imagen 10. Cálculo Índice de compactación Año 2020.....	50
Imagen 11. Cálculo índice de compactación Año 2024	51
Imagen 12. Identificación de áreas prioritarias para planes de mitigación y conservación.....	54

Abreviaturas

Abreviatura	Término
SIG	Sistema de Información Geográfica
<i>IGAC</i>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<i>GDB</i>	Geodatabase
<i>RF</i>	Random Forest
<i>K-NN</i>	K-Nearest Neighbors

Resumen

El estudio tiene como objetivo analizar la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Esta metodología permitirá generar insumos clave para la formulación de planes de mitigación y conservación en el área. Para ello, se llevará a cabo una caracterización de las coberturas del terreno mediante el uso de herramientas digitales, lo que facilitará la identificación de las principales dinámicas del ecosistema.

Además, se analizarán los cambios espaciales y temporales de las coberturas, lo que proporcionará una comprensión detallada de la evolución de la fragmentación en el tiempo y el espacio. Con base en estos datos, se generará un indicador o métrica que cuantifique los niveles de fragmentación, permitiendo interpretar con precisión el estado actual del bosque húmedo tropical.

Por último, se identificarán áreas prioritarias para la conservación y mitigación, considerando los resultados del análisis de fragmentación y los patrones espaciales detectados. Este enfoque integral busca contribuir al diseño de estrategias efectivas que promuevan la conservación del ecosistema y mitiguen los efectos adversos de la fragmentación, asegurando la sostenibilidad del Parque Nacional Natural Munchique a largo plazo.

Palabras claves: Fragmentación, Bosque Húmedo Tropical, Indicador, Métrica, Conservación, Mitigación, Biodiversidad.

Abstract

The study aims to analyze the fragmentation of the tropical rainforest in the Munchique National Natural Park, using digital image processing techniques. This methodology will generate key inputs for the formulation of mitigation and conservation plans in the area. To do so, a characterization of the land cover will be carried out using digital tools, which will facilitate the identification of the main dynamics of the ecosystem.

In addition, the spatial and temporal changes in the cover will be analyzed, which will provide a detailed understanding of the evolution of fragmentation in time and space. Based on these data, an indicator or metric will be generated that quantifies the levels of fragmentation, allowing the current state of the tropical rainforest to be accurately interpreted.

Finally, priority areas for conservation and mitigation will be identified, considering the results of the fragmentation analysis and the spatial patterns detected. This comprehensive approach seeks to contribute to the design of effective strategies that promote ecosystem conservation and mitigate the adverse effects of fragmentation, ensuring the long-term sustainability of the Munchique National Natural Park.

Keywords: Fragmentation, Tropical Humid Forest, Indicator, Metric, Conservation, Mitigation and Biodiversity.

1. Introducción

Los bosques representan el ecosistema más ampliamente distribuido en la tierra (Wulder, M. 1998), sin embargo, en el caso de los bosques tropicales húmedos, estos cubren apenas el 7% del planeta, haciéndose importante destacar que es en estos en donde se alberga más de la mitad de la biodiversidad terrestre (Myers et al., 2000). Colombia se encuentra ubicada en una de las regiones más diversas del mundo para la flora y la fauna (Chávez.M et al., 1998), sin embargo, la transformación del paisaje se presenta a una tasa tan elevada, que diferentes tipos de ecosistemas se encuentran bajo amenaza de desaparición (Armenteras, D. et al., 2002). Se estima que entre 1990 y 2016 fueron deforestadas más de 6 millones de hectáreas, generando, además de la pérdida invaluable de biodiversidad, afectaciones en servicios ecosistémicos así como en los espacios vitales para el buen vivir de las comunidades locales, favoreciendo, además, el detrimento de recursos económicos y el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (Bosques: Territorios de vida: Estrategia Integral de Control a la deforestación y gestión de bosques, Ministerio de Ambiente, IDEAM).

La evolución del paisaje natural en el país ha estado definida por la interacción de factores naturales y sociales complejos que favorecen los procesos de fragmentación de las zonas de bosque, incluso, en áreas protegidas como los Parques Nacionales Naturales (Clericy, N. et al., 2020). Los procesos de caracterización espacio temporal de este fenómeno, en los cuales se genera información a partir del establecimiento de indicadores, tienen gran relevancia para la protección del paisaje natural, pues permiten evaluar la configuración y composición de este, aportando, además, insumos para el análisis e identificación de áreas críticas (Rodríguez, Y., et al., 2020). La fragmentación forestal puede ser interpretada como un proceso dinámico en el que las áreas de los bosques son progresivamente subdivididas en “parches” pequeños, aislados y

alterados geoméricamente, lo cual dispara una serie de procesos que pueden generar cambios en las condiciones abióticas, como, por ejemplo, el aislamiento progresivo de poblaciones de flora y fauna (Rodríguez, Y., et al., 2020).

La aplicación de los sensores remotos para la evaluación de la fragmentación de bosques se conoce a nivel mundial desde la década de los años 90, periodo en el que los investigadores también se enfocaron en la implementación de indicadores cuantitativos del fenómeno (Olariu, B.; et al., 2022). La existencia de diferentes estudios en los que se han mapeado patrones de deforestación y se han analizado las tasas de cambio en las coberturas del suelo en los bosques tropicales y otros ambientes (Hall, F. et al., 1991, Roughgarden, J. et al., 1991, Woods, C. et al., 1991), han probado la utilidad de los mismos en la interpretación de las causas que favorecen tanto la ocurrencia del fenómeno así como el impacto para las regiones que experimentan la fragmentación del paisaje (Southworth, J. et al., 2002). En el presente trabajo se analiza la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique (PNN Munchique), localizado en el departamento del Cauca, en jurisdicción del municipio del Tambo; para esto se realizaron análisis y procesamiento digital de imágenes satelitales obtenidas de la plataforma PlanetScope, con una resolución espacial de 4.8 metros, a partir de las cuales se realizó la caracterización de las coberturas del suelo mediante clasificación supervisada, y se realizó el análisis de los cambios espaciales y temporales del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema en este parque natural.

2. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

La fragmentación del bosque húmedo tropical es uno de los principales problemas que afectan la biodiversidad y la sostenibilidad ecológica en el Parque Nacional Natural Munchique. Este fenómeno, causado principalmente por actividades humanas como la deforestación, la expansión agrícola y el desarrollo de infraestructura, compromete la conectividad ecológica, reduce los hábitats disponibles para las especies y altera los servicios ecosistémicos esenciales. Ante este desafío, el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes se presenta como una herramienta clave para analizar y comprender los patrones de fragmentación espacial y temporal en el área de estudio. Este enfoque no solo permite caracterizar las coberturas del terreno, sino también generar indicadores precisos que cuantifiquen los niveles de fragmentación. De esta forma, el estudio busca proporcionar insumos fundamentales para el diseño de planes de mitigación y conservación, que prioricen las áreas más vulnerables y promuevan estrategias sostenibles orientadas a la protección del ecosistema y su biodiversidad.

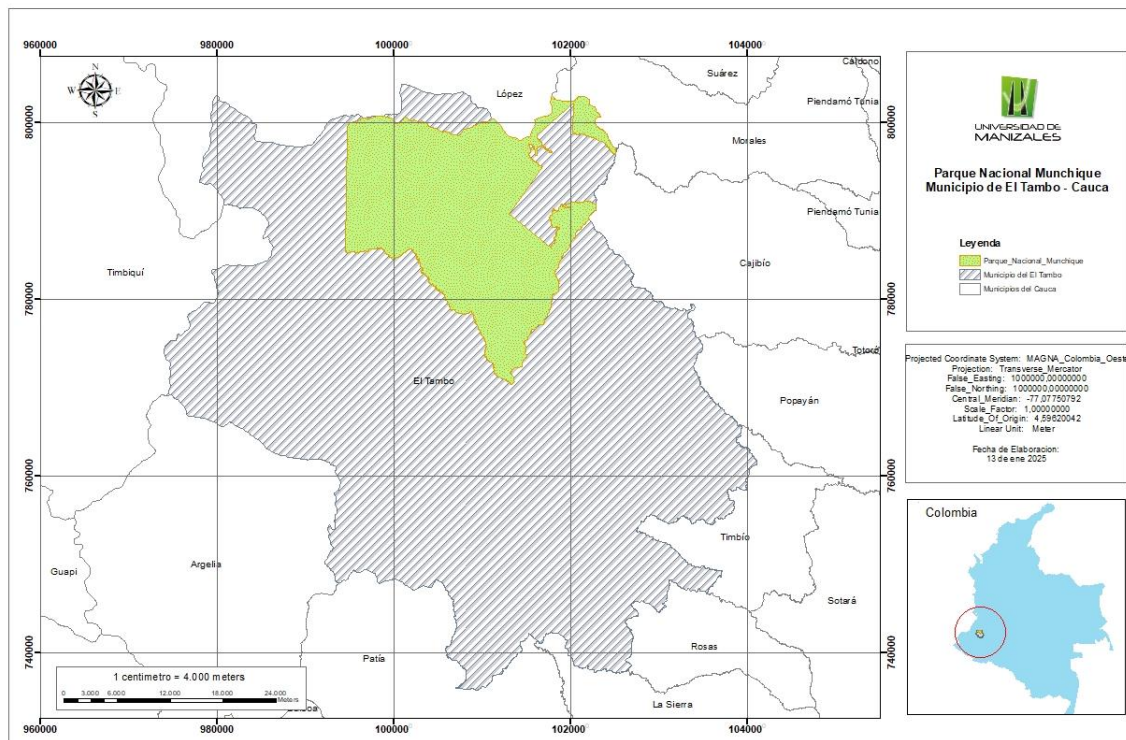
2.1 Descripción del área problemática

El Parque Nacional Natural Munchique, ubicado en la región andina de Colombia, es reconocido como uno de los ecosistemas más biodiversos del país. Sin embargo, enfrenta crecientes desafíos ambientales debido a la fragmentación del Bosque Húmedo Tropical. Este fenómeno, causado principalmente por actividades humanas como la expansión de la frontera agrícola, la tala ilegal, la minería y la construcción de infraestructura, amenaza la conectividad ecológica y la biodiversidad del parque.

La fragmentación de los bosques no solo genera pérdida de hábitats para especies endémicas y en peligro de extinción, sino que también impacta negativamente en servicios

ecosistémicos esenciales, como la regulación hídrica, la captura de carbono y la estabilidad climática local. Estudios previos han identificado la necesidad de evaluar la magnitud y las causas de esta fragmentación en áreas protegidas, pero en el caso del Parque Munchique, los análisis espaciales y temporales han sido limitados.

Imagen 1. Área de Estudio



Nota. Ubicación espacial del Parque Nacional Natural Munchique. Elaboración propia.

2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Natural Munchique, Cauca?

“La fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Natural Munchique genera una reducción significativa del ecosistema, lo que conlleva una pérdida acelerada de especies tanto del reino vegetal como animal. Además, afecta componentes físicos esenciales como el suelo y el agua, alterando drásticamente las condiciones microclimáticas dentro del hábitat” (Saunders,

Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review, 1991). “Diversos estudios coinciden en que la fragmentación de los ecosistemas naturales representa una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad a nivel global” (Crooks, 2006).

Imagen 2. Imagen de Coberturas



Nota. Visualización de cobertura vegetal en el PNN Munchique. Tomado de Parques Nacionales Naturales de Colombia, Parque Nacional Natural Munchique, 2021, Archivo fotográfico del Parque.

2.3 Antecedentes

Los bosques tropicales húmedos son ecosistemas ubicados en las zonas ecuatoriales, con más de 2,000 mm de lluvia anual y temperaturas que oscilan entre los 24 y 30 °C (Malhi, 2008). Aunque cubren solo alrededor del 7% del planeta, albergan más de la mitad de la biodiversidad terrestre (Myers, 2000). Algunos ejemplos destacados son la Amazonía en América del Sur, la Cuenca del Congo en África y los bosques del sudeste asiático, como los de Borneo y Sumatra.

En Colombia, estos bosques se encuentran en regiones como el Chocó biogeográfico, la Amazonía y en las zonas andinas, como el Parque Nacional Natural Munchique (Armenteras, 2003). Estos ecosistemas son esenciales para la biodiversidad, albergando especies únicas y en riesgo de extinción (Raven, 2003). Además, ofrecen importantes beneficios ecológicos, como la captura de carbono, la regulación climática (Bonan, 2008), el manejo del agua que protege cuencas hidrográficas clave (Gentry, Changes in Plant Community Diversity and Floristic Composition on Environmental and Geographical Gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, 1-34., 1988) y la conservación del suelo contra la erosión (Laurance, *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*, 2002). También, han sido fundamentales para las comunidades humanas a lo largo de la historia, proporcionando alimentos, medicinas y materiales de construcción (Nepstad, 2006). Desde el siglo XIX, varios estudios han aportado conocimientos sobre estos bosques. Humboldt y Bonpland destacaron la diversidad de plantas tropicales y la relación entre clima y vegetación (Bonpland, 1807). Posteriormente, (Gleason, s.f.) propuso la teoría de la composición florística aleatoria para explicar la dinámica de especies en estos bosques, y (Richards, *Ecology of the Tropical Rain Forest*, 1952) publicó una obra clave: *The Tropical Rain Forest*, sobre la ecología tropical.

Sin embargo, desde mediados del siglo XX, las actividades humanas han amenazado gravemente estos ecosistemas. Se estima que al menos un 20% de su cobertura original ha desaparecido debido a la deforestación y fragmentación (FAO, 2020). Las principales causas son la agricultura intensiva, la ganadería (Foley et al., 2005), la tala ilegal, la minería (Swenson et al., 2011) y la expansión urbana (Laurance et al., 2014). Además, el cambio climático ha empeorado la situación, ya que la degradación de estos bosques aumenta las emisiones globales de CO₂

(Malhi et al., 2008). Para contrarrestar estas amenazas, se han impulsado diversas iniciativas de conservación. A nivel global, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992) busca proteger la biodiversidad de estos bosques, y REDD+ promueve su conservación como sumideros de carbono (Angelsen, 2009). En Colombia, se han creado estrategias como el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) (Etter et al., 2006) y el monitoreo satelital de la deforestación por el IDEAM (2020).

El avance tecnológico ha facilitado el uso de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección para evaluar la fragmentación de los bosques (Hansen, 2013). Estas metodologías han sido clave en estudios sobre la cobertura forestal en Colombia, como se observa en investigaciones sobre el bosque seco tropical (García et al., 2014) y la estimación de variaciones en las escalas utilizadas (Otero, 2012). En otros países, también se han registrado patrones similares de fragmentación. En la subcuenca del río Yuracyacu en Perú, se documentó una pérdida de 32 km² de bosque amazónico entre 1989 y 2010, con una tasa de deforestación anual del 1.2% (Gómez, 2021). En México, la reducción de ecosistemas boscosos nativos fue del 9%, con una tasa anual del 0.57%, mayormente por la expansión agrícola (SciELO, 2021). En Chile, la cordillera de Nahuelbuta perdió un 33% de su bosque nativo en 25 años debido a la conversión a plantaciones forestales, alterando el paisaje y la biodiversidad (Elsevier, 2021).

Defries (2002), en un estudio sobre la fragmentación de la Amazonia, utilizaron un análisis de imágenes satelitales y modelos espaciales para examinar la relación entre la deforestación y la fragmentación del hábitat. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado para analizar la fragmentación en varios tipos de bosques tropicales. Así mismo, González et al.,

(2022) llevaron a cabo una evaluación de la fragmentación y los efectos de la deforestación en las áreas protegidas de la región del Pacífico colombiano utilizando imágenes satelitales y modelos GIS, particularmente en el departamento del Chocó; los autores concluyeron que la deforestación en áreas próximas a zonas protegidas aumenta el riesgo de pérdida de biodiversidad, y recomiendan que el manejo de áreas de conservación debe incluir acciones de restauración en los bordes de estas zonas para reducir los efectos de la fragmentación. Además, Galindo et al., (2022) se centraron en la evaluación de la estructura del paisaje y la fragmentación de los bosques tropicales en la región del Cauca, donde se ubica el Parque Munchique. Utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG, analizaron cómo los parches de bosque se han reducido en tamaño y se han aislado unos de otros. Este estudio mostró que la fragmentación en la región no solo afecta la biodiversidad, sino que también interfiere con los servicios ecosistémicos vitales como la regulación hídrica y la captura de carbono, subrayando la necesidad de una estrategia de conservación integral que incluya tanto la protección de los fragmentos existentes como la restauración de los paisajes alterados.

Arias et al., (2014) estudiaron los efectos de la fragmentación en la región de la Cordillera Occidental de Colombia, afirmando que la pérdida de hábitat debido a la expansión de la agricultura y la ganadería está reduciendo la biodiversidad de especies vegetales y animales, muchas de las cuales dependen de áreas forestales contiguas. Este trabajo destaca la importancia de integrar zonas de protección como los parques naturales, en planes de conservación más amplios a escala regional para garantizar la conectividad entre fragmentos.

Por otro lado, Jaramillo et al., (2016), en su investigación sobre el impacto de la deforestación y fragmentación en el Chocó biogeográfico, identificaron que los ecosistemas de

este corredor ecológico han sufrido grandes alteraciones debido a actividades humanas, lo que pone en riesgo a especies clave como el jaguar (*Panthera onca*) y el perezoso de tres dedos (*Bradypus variegatus*). Este estudio resaltó la necesidad de mejorar las políticas de restauración ecológica en áreas fragmentadas, lo cual es aplicable al Parque Nacional Natural Munchique, donde la conectividad ecológica podría verse fortalecida mediante corredores biológicos.

En el Parque Nacional Natural Munchique, se ha investigado la fragmentación de los bosques mediante métricas de paisaje, lo que ha permitido analizar los cambios en la cobertura vegetal de la Cordillera Occidental de los Andes colombianos (Maya et al., 2023). Los estudios muestran que los remanentes de bosque son fragmentos aislados, irregulares y con poca conectividad, como resultado de actividades agropecuarias y urbanización (Echeverry et al., 2006). Además, en el norte del Tolima, el 75% de los fragmentos de bosque presentan formas irregulares, lo que aumenta su vulnerabilidad y reduce la conectividad entre ellos (lozano et al., 2011).

Rodríguez et al., (2018) realizó un análisis de la conectividad ecológica utilizando modelos espaciales para evaluar cómo los fragmentos de bosque afectan a las especies en áreas de protección de Colombia. Este estudio evidenció que los fragmentos de bosque, aunque estén dentro de parques nacionales, regularmente carecen de suficiente conectividad entre sí, lo que limita la dispersión de especies y la resiliencia de los ecosistemas.

Por último, Hernández et al., (2019) realizaron un estudio comparativo de la conectividad de zonas protegidas de Colombia, haciendo énfasis en cómo la fragmentación condiciona el movimiento de especies y la restauración de ecosistemas, este estudio también sugiere recomendaciones para mejorar la conectividad de los fragmentos mediante la creación de

corredores biológicos. Estos estudios han evidenciado que el patrón espacial de fragmentación disminuye la continuidad ecológica, lo que impacta negativamente a las especies que dependen de hábitats boscosos interconectados.

3. Justificación

La importancia de esta investigación radica en la necesidad urgente de comprender y mitigar los impactos de la fragmentación forestal en el Parque Nacional Munchique, una reserva natural que alberga una rica biodiversidad y especies emblemáticas de la región andina. Este ecosistema es un refugio crítico para flora y fauna, incluidas especies endémicas y en peligro de extinción como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y diversas aves migratorias.

“La fragmentación de los bosques afecta directamente la funcionalidad del ecosistema, disminuye la capacidad del bosque para actuar como sumidero de carbono y pone en riesgo los medios de vida de las comunidades locales que dependen de sus servicios ecosistémicos. Además, el análisis del problema tiene relevancia global, ya que los bosques tropicales son esenciales en la lucha contra el cambio climático y la pérdida de biodiversidad” (Phillips, 2017).

Al utilizar sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de análisis espacial, esta investigación contribuirá al diseño de estrategias informadas para la conservación del Parque Munchique, promoviendo políticas que favorezcan la restauración ecológica y el manejo sostenible del territorio. Asimismo, proporcionará información valiosa para la gestión de otros parques nacionales con características similares en Colombia y la región tropical

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, mediante el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes, con el fin de generar insumos para el desarrollo de planes de mitigación y conservación.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes.
- Analizar los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema.
- Analizar indicadores de estudios previos para calcular e interpretar los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.
- Identificar áreas prioritarias para temas de y mitigación conservación en función de los resultados del análisis de fragmentación.

5. Hipótesis

La fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique altera significativamente la conectividad ecológica y los servicios ecosistémicos del área, afectando la biodiversidad y acelerando la degradación ambiental.

5.1 Hipótesis de trabajo

La aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de procesamiento digital de imágenes permite identificar de manera precisa los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, evidenciando un aumento significativo en la pérdida de conectividad ecológica entre los años 2020 y 2024, como resultado de actividades antrópicas.

5.1.1 Hipótesis nula.

El uso de herramientas SIG y procesamiento digital de imágenes no proporciona diferencias significativas en la identificación ni análisis de la fragmentación del bosque húmedo tropical entre los años 2020 y 2024.

5.1.1.1 Hipótesis alterna.

El uso de herramientas SIG y procesamiento digital de imágenes permite identificar diferencias significativas en la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, mostrando un aumento de esta entre los años 2020 y 2024

5.1.1.1.1 Variables.

Independientes: Uso de herramientas SIG y técnicas de procesamiento de imágenes satelitales.

Dependientes: Nivel de fragmentación del bosque húmedo tropical (medido en términos de conectividad, forma, tamaño y número de fragmentos).

6. Referente normativo y legal

En Colombia, el marco normativo y las políticas ambientales relacionadas con la conservación y restauración de ecosistemas fragmentados, como los bosques húmedos tropicales, están respaldados por diversos instrumentos legales e institucionales. La Constitución Política, en sus artículos 79 y 80, garantiza el derecho a un ambiente sano y promueve el uso sostenible de los recursos naturales. Leyes como la 99 de 1993, que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y estableció principios de conservación, y la Ley 165 de 1994, que ratificó el Convenio sobre la Diversidad Biológica, refuerzan estos compromisos. El Decreto-Ley 2811 de 1974, que constituye el Código de Recursos Naturales, define directrices para la protección de estos recursos, complementado por políticas nacionales como el PNGIBSE, que orienta acciones frente a la fragmentación, y el PNRE, que se centra en la restauración de ecosistemas degradados (Congreso, 1974). Además, normas específicas como el Decreto 1791 de 1996 y la Ley 1930 de 2018 (Ley de Bosques) regulan el manejo sostenible de los bosques y buscan reducir la deforestación. En cuanto al ordenamiento territorial, la Ley 388 de 1997 incluye áreas de conservación en los planes municipales, mientras el Decreto 2372 de 2010 establece criterios para delimitar áreas protegidas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) (M.M.AMBIENTE, 1996). A nivel internacional, convenios como Ramsar y el Convenio sobre la Diversidad Biológica, buscan fomentar la conservación y el uso sostenible de ecosistemas fragmentados. Jurisprudencias emblemáticas, como las sentencias T-622 de 2016 y STC4360-2018, reconocen derechos a ecosistemas estratégicos como el río Atrato y la Amazonia. Instituciones como las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) desempeñan un papel clave en la vigilancia y regulación, mientras que los Planes de Manejo Ambiental garantizan la conservación y restauración en áreas protegidas, protegiendo estos valiosos ecosistemas frente a las amenazas actuales.

7. Referente teórico

La cobertura de la tierra es definida como la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra (LJM, 2005), donde se incluyen todos los elementos existentes sobre la tierra, tanto los naturales (bosques, cuerpos de agua naturales, afloramientos rocosos, arbustales, entre otros) como los de origen antrópico (pastos, cultivos, cuerpos de agua artificiales, tejidos urbanos, entre otros), incluyendo no sólo los aspectos bióticos y abióticos, sino también su interacción en un espacio determinado, donde surge como el resultados de la asociación espacio tiempo (BRC, 2005). El conocimiento de esta y del cambio de uso del suelo en un área dada, son importantes en la investigación de los recursos naturales, el desarrollo sostenible, la conservación del medio ambiente, la mitigación de los impactos de los procesos naturales o productivos y en la adaptación o prevención ante los desastres naturales, entre otros (Rincón-Romero, 2012); además se hallan relacionadas intrínsecamente con la fisiografía y las actividades humanas de la región. En el año 2010, en Colombia el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) adaptaron la metodología Corine Land Cover (IDEAM, 2010), la cual consiste en la fotointerpretación de imágenes satelitales, para la identificación de las coberturas terrestres en un área determinada.

Los ecosistemas son complejos sistemas ecológicos que combinan interacciones entre factores bióticos y abióticos. De acuerdo con (Odum, 1971), un ecosistema se define como una unidad funcional compuesta por organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno no viviente. En este contexto, (Forman, 1995) señala que un ecosistema se puede delimitar geográficamente, considerando las relaciones funcionales que ocurren en su interior. Además,

conceptos modernos enfatizan la importancia de la conectividad ecológica para la estabilidad de estos sistemas, destacando el papel del flujo de energía y materiales (Cadenasso, 1995).

El paisaje como componente visual y funcional del territorio, se define como el conjunto de elementos físicos, bióticos y antrópicos que conforman una unidad observable (Farina, 2000). Según (Turner, 2001), la ecología del paisaje se centra en el estudio de patrones espaciales y su relación con procesos ecológicos, considerando factores como la estructura y funcionalidad del paisaje. En este sentido, la percepción visual y la morfología del terreno son esenciales para el análisis de las relaciones entre los elementos que conforman el paisaje (Ahern, 2002).

La ecología del paisaje estudia la organización espacial de los ecosistemas y las interacciones que emergen en diferentes escalas espaciales y temporales. Según Wu y Loucks (1995), este enfoque combina ecología, geografía y ciencias del paisaje para analizar procesos ecológicos complejos. Los niveles de análisis incluyen fragmentos o parches, clases de elementos y el paisaje en general, permitiendo evaluar la configuración, estructura y funcionalidad (Loucks, 1995). Además, el efecto de borde y la conectividad son factores clave para determinar la resiliencia ecológica y los patrones de biodiversidad (Collinge, 1996).

El bosque húmedo tropical es un ecosistema caracterizado por una alta biodiversidad y condiciones climáticas constantes, con precipitaciones superiores a los 2,000 mm anuales (Whitmore, 1998). Este tipo de bosque, según (Gentry, 1988), alberga especies endémicas y desempeña un papel crucial en la regulación del ciclo del carbono y del agua. Los bosques

húmedos tropicales también son vulnerables a actividades humanas como la deforestación, que fragmentan su estructura y comprometen su funcionalidad ecológica (Laurance, 2006).

La fragmentación del paisaje se refiere a la división de ecosistemas continuos en parches más pequeños y aislados debido a actividades humanas o procesos naturales (Fahrig, 2003). Este fenómeno afecta la biodiversidad, incrementa el efecto de borde y reduce la conectividad ecológica, limitando el movimiento de especies y procesos ecológicos esenciales (Saunders, 1991). Según (Didham, 2006), la fragmentación altera la dinámica poblacional, la composición de especies y la estabilidad de los ecosistemas, siendo una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad global.

Los corredores biológicos son áreas que conectan ecosistemas fragmentados, permitiendo el movimiento de especies y facilitando el intercambio genético entre poblaciones aisladas. (Bennett, 2003) destaca que estas estructuras son esenciales para la conservación de la biodiversidad y la mitigación de los efectos de la fragmentación. Además, (Noss, 1998) subrayan la importancia de diseñar corredores biológicos teniendo en cuenta la configuración del paisaje y las necesidades ecológicas de las especies objetivo.

La clasificación digital de imágenes satelitales es una técnica utilizada para identificar y mapear diferentes tipos de cobertura terrestre mediante algoritmos que analizan firmas espectrales (al, 2015). Este proceso puede realizarse de manera supervisada o no supervisada, dependiendo del nivel de intervención del analista (Wynne, 2011). Además (Richards, 2013) enfatiza que la

clasificación supervisada tiende a ser más precisa, ya que utiliza áreas de entrenamiento predefinidas para categorizar los datos.

El apilamiento de bandas combina diferentes longitudes de onda de datos satelitales para crear imágenes multiespectrales. Según (Roy, 2008), este procedimiento es esencial para el análisis de cambios en el paisaje y para la generación de compuestos de mediana temporal que minimizan ruidos causados por valores atípicos o sesgos estacionales. Además, la automatización del apilamiento y composición mediante herramientas como Python o R optimiza la gestión de grandes volúmenes de datos (Galindo, 2014).

La cobertura de la tierra se refiere a los elementos biofísicos presentes en la superficie terrestre, incluyendo componentes naturales como bosques y cuerpos de agua, así como elementos antrópicos como cultivos y áreas urbanas. Este concepto es fundamental para estudios sobre sostenibilidad, conservación ambiental y mitigación de desastres. Los ecosistemas, como unidades funcionales de interacciones entre factores bióticos y abióticos, son esenciales para la estabilidad ecológica, mientras que el paisaje, compuesto por elementos físicos, biológicos y antrópicos, se analiza desde la ecología del paisaje para entender patrones espaciales, funcionalidad y resiliencia ecológica. Problemas como la fragmentación del paisaje afectan la biodiversidad y los procesos ecológicos, pero pueden mitigarse mediante corredores biológicos que conectan hábitats fragmentados y facilitan el movimiento de especies. Ecosistemas como el bosque húmedo tropical, caracterizados por su alta biodiversidad y función clave en los ciclos

del carbono y del agua, enfrentan amenazas como la deforestación. Técnicas como la clasificación digital de imágenes satelitales, el apilamiento de bandas y el enmascaramiento de nubes son procesos cruciales para mapear y analizar el territorio, proporcionando información precisa para la gestión sostenible de los recursos naturales y el diseño de estrategias de conservación ambiental.

8. Metodología

La metodología consistió en el **geoprocesamiento de imágenes satelitales de PlanetScope** con la manipulación y análisis de los datos de alta resolución proporcionados por la constelación de satélites de Planet Labs. Estas imágenes que fueron tomadas en agosto de 2024 y septiembre de 2020, con una resolución espacial de 4.7 metros, son ideales para la detección de cambios en el uso del suelo. El proceso metodológico incluyó la corrección radiométrica, geométrica y atmosférica para garantizar la calidad de los datos, seguido de análisis avanzados como la clasificación supervisada y el cálculo del índice normalizado diferencial de Cobertura vegetal (NDVI para evaluar la vegetación). Este flujo de trabajo permitió aprovechar las características espectrales de PlanetScope para obtener información precisa y detallada del territorio, que son de gran ayuda para generar los resultados para la toma de decisiones en la elaboración de planes de conservación y el manejo sostenible del Parque Nacional Munchique.

8.1 Enfoque metodológico

La identificación de la fragmentación del bosque húmedo Tropical del parque Nacional Munchique tiene un enfoque metodológico mixto, ya que se tiene un proceso cuantitativo, en el cual se hace tratamiento de datos medibles desde la estadística y el análisis espacial, debido a que se utilizó la clasificación por medio de la máxima verosimilitud cuya técnica estadística es utilizada en sistemas de información geográfica (SIG). En el presente trabajo se utilizó el software ArcMap obteniendo un producto final el cual tuvo una evaluación cualitativa que permite validar su funcionamiento y el servicio a los interesados.

Este método se basa en la suposición de que los valores espectrales de las clases de interés siguen una distribución normal. A través de un proceso de entrenamiento, se seleccionan muestras representativas de cada clase (como Bosques densos, Cultivo permanente arbustivo,

Mosaico de pastos y cultivos, cuerpos de agua) para calcular sus estadísticas espectrales, como medias, varianzas y matrices de covarianza.

8.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio para este caso es descriptivo puesto que describe las coberturas (Bosques densos, Cultivo permanente arbustivo, Mosaico de pastos y cultivos, cuerpos de agua) en el Parque Nacional Munchique según imágenes de planet Scope de los meses de agosto del 2024 y septiembre de 2020, y es, a su vez, un estudio explicativo dado que se da respuesta al por que, del nivel de fraccionamiento del Bosque Húmedo Tropical, según geoprocesamiento de las imágenes satelitales.

8.3 Procedimiento

Para el análisis de la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, mediante el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes, con el fin de generar insumos para el desarrollo de planes de mitigación y conservación se procedió de la siguiente manera

8.3.1 Fase 1: Caracterizar las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes.

Actividades:

8.3.1.1 Alistamiento de la información:

Se descarga polígono del Parque Nacional Natural Munchique en formato shape (SHP) de la fuente de datos abiertos del IGAC.

8.3.1.2 Búsqueda de fuentes de imágenes:

En esta fase se realizó la consulta de imágenes de Landsat por ser gratuitas, sin embargo, la resolución espacial de 30 metros no se encontró adecuada, por lo tanto, la descarga de imágenes se hizo a partir de los satélites PlanetSope con una resolución espacial de 4.7

metros. Se eligieron cuatro (4) imágenes de satélite que abarcan el área de estudio (ver imagen 3) con fechas de agosto 2024 y cuatro (4) imágenes de satélite del mes de septiembre 2020, dado que para estas fechas se tuvo una menor nubosidad lo que permite tener una mejor clasificación de coberturas.

8.3.1.3 Selección de coberturas a clasificar:

La clasificación supervisada es la definición de las clases identificadas y en las cuales se pretende clasificar la imagen. Para esta clasificación se tiene en cuenta la resolución espacial del insumo que a su vez define el nivel de interpretación que se tiene. Para nuestro caso se utilizó la metodología Corine Land Cover.

8.3.1.4 Generación de muestras:

Una vez caracterizadas las coberturas, se realiza por medio de un algoritmo, asignada a cada píxel a la clase con la mayor probabilidad de pertenencia, basada en estas estadísticas. Esta metodología, ampliamente implementada en plataformas como ArcGIS, QGIS y Google Earth Engine, destaca por su precisión, especialmente cuando las clases están claramente definidas y las muestras son representativas.

En este proceso se emplearon 8 imágenes disponibles del mes de agosto de 2024 y septiembre de 2020, de tal forma que para cada unidad de observación (pixel) se tiene una serie de tiempo con todos los datos de superficie de reflectancia. Posteriormente, y tomando como insumo dicha serie de tiempo, para cada píxel se obtuvo un compuesto el cual representa la mediana de la serie de tiempo de cada banda espectral estadístico que distingue fácilmente las diferentes clases de coberturas; de esta forma, para cada unidad de observación, se obtiene un único valor radiométrico de superficie de reflectancia en cada una de las bandas radiométricas. La construcción de este mosaico de mediana tiene dos objetivos principales:

Control de Cobertura: para garantizar el máximo nivel de cobertura del marco estadístico definido, incluye todas las escenas disponibles dentro del período de estudio, incluso aquellas con

áreas muy pequeñas de información. Esto minimiza la cantidad de datos perdidos, ya que cada unidad de observación con valores de reflectancia tiene que ser interpretada y clasificada.

El uso del valor de la mediana ayuda a reducir los efectos causados por cambios estacionales en los bosques, evitando que estos se interpreten erróneamente como pérdidas o ganancias.

8.3.2 Fase 2: Analizar los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema.

Actividades:

8.3.2.1 Realizar la clasificación supervisada:

Una vez recolectadas las muestras necesarias, se genera la firma espectral con la herramienta (Create Signatures) utilizando el compuesto mediano previamente creado junto con las muestras obtenidas para cada clase (coberturas) específica. Posteriormente, se emplea el algoritmo de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood Classification) para realizar la clasificación supervisada.

8.3.2.2 Validación visual de la Clasificación:

Una de las maneras de verificar los cambios de cada clasificación es de manera visual, permitiendo diferenciar los cambios para cada cobertura. Este análisis se considera pertinente en la comparación y posterior cálculo de estadística de clasificación supervisada.

8.3.3 Fase 3: Analizar indicadores de estudios previos para calcular e interpretar los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.

Actividades:

8.3.3.1 Realizar una revisión de estudios previos sobre la fragmentación del bosque húmedo tropical, para aplicar los más adecuados al caso de estudio.

8.3.3.2 Definir y seleccionar los indicadores más relevantes y aplicables para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique:

Se priorizarán métricas cuantitativas y cualitativas que permitan evaluar diferentes aspectos de la fragmentación, tales como:

Área de los parches: medición del tamaño de los fragmentos de bosque.

Número de fragmentos: cantidad de parches presentes en el área de estudio.

Índice de forma: evaluación de la forma geométrica de los fragmentos y su relación con la conectividad.

Conectividad ecológica: medición de la interconexión entre los parches, utilizando redes ecológicas o herramientas de conectividad.

Validar que los indicadores seleccionados sean adecuados para los datos disponibles y para el contexto específico del caso de estudio.

8.3.3.3 Calcular e interpretar los indicadores de fragmentación para comprender el estado del bosque en términos de conectividad ecológica y su potencial para la conservación.

8.3.4 Fase 4: Identificar áreas prioritarias para la conservación y mitigación en función de los resultados del análisis de fragmentación.

En la clasificación supervisada se generaron 5 clases de coberturas, una muy representativa que es Mosaico de pastos y cultivos, que corresponde a expansión de frontera agrícola, estas áreas para el año 2024 se incrementaron, por tanto, estas áreas son representativas,

a esta clase de cobertura se creó un área de influencia 500 metros con la herramienta Buffer y así poder tener áreas prioritarias como insumo para implementar temas de conservación y mitigación.

9. Resultados

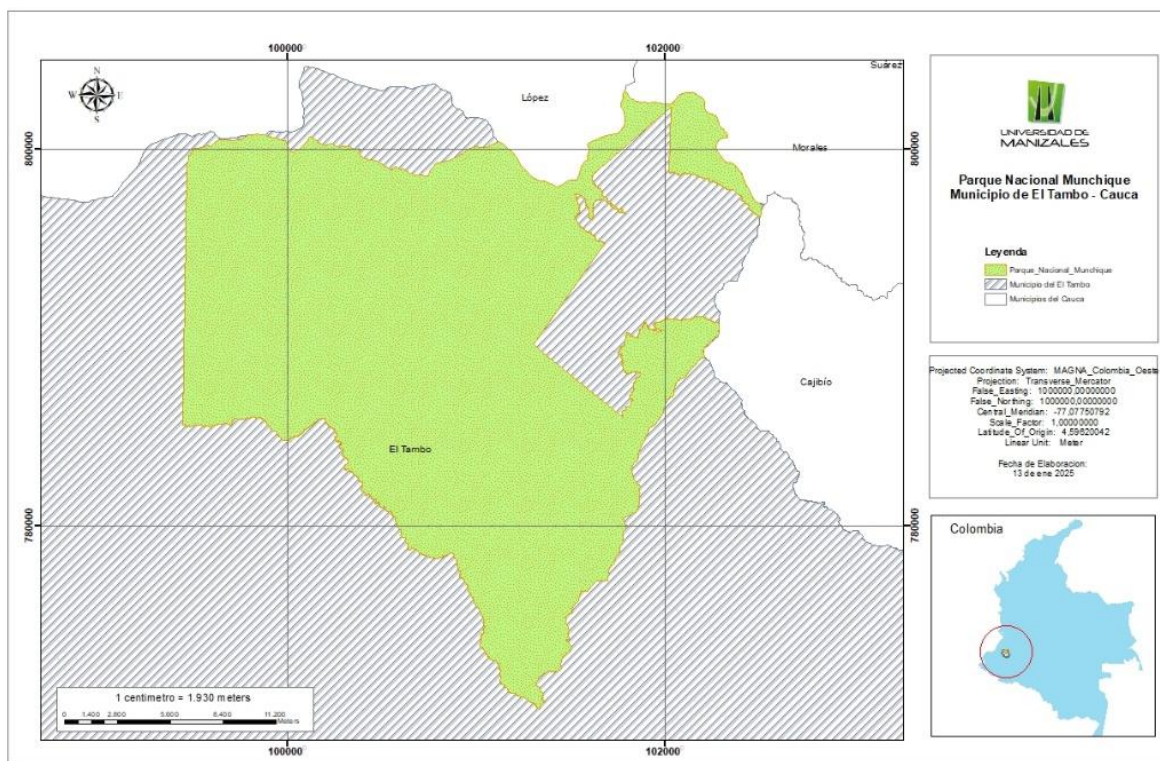
La caracterización de coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes arrojó los siguientes resultados.

9.1 Fase 1. Caracterizar las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes.

9.1.1. Actividad 1. Alistamiento de la información del área de estudio.

El Parque Nacional Natural Munchique cuenta con un área aproximada de 46.982 hectáreas, según SHP descargado de datos abiertos del IGAC. A pesar de ser un área protegida se observa que está siendo afectada por actividades humanas que se ven reflejadas en la fragmentación del bosque.

Imagen 3. Georreferenciación del Polígono SHP del Parque Nacional Natural Munchique.



Nota. Elaboración propia, fuente IGAC.

9.1.2 Actividad 2 Búsqueda de fuentes de imágenes

Como resultado se tiene la descarga de imágenes de los satélites de PlanetScope con resolución de 4.7 metros, se eligieron cuatro (4) imágenes de satélite que abarcan el área de estudio con fechas de agosto 2024 y cuatro (4) imágenes de satélite del mes de septiembre 2020 por presentar una menor nubosidad como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Descarga de Imágenes Satelitales PlanetScope

IMAGENES USADAS	SATELITE	SENSOR	FECHA (AÑO/MES)	Resolución espacial	Resolución radiométrica
L15-0585E-1038N	Planet Scope	Doves	20_09	4.78 m	8 bits
L15-0585E-1039N	Planet Scope	Doves	20_09	4.78 m	8 bits
L15-0586E-1038N	Planet Scope	Doves	20_09	4.78 m	8 bits
L15-0586E-1039N	Planet Scope	Doves	20_09	4.78 m	8 bits
L15-0585E-1038N	Planet Scope	Doves	24_08	4.78 m	8 bits
L15-0585E-1039N	Planet Scope	Doves	24_08	4.78 m	8 bits
L15-0586E-1038N	Planet Scope	Doves	24_08	4.78 m	8 bits
L15-0586E-1039N	Planet Scope	Doves	24_08	4.78 m	8 bits

Nota. Cuatro imágenes satelitales abarcan el área de estudio.

9.1.3 Actividad 3 Selección de coberturas a clasificar

Para esta clasificación se tiene en cuenta la resolución espacial de las imágenes satelitales que, para nuestro caso, es de 4.7 metros, la cual se considera una buena resolución para el nivel de interpretación de las clases de coberturas según la metodología Corine Land Cover.

Tabla 2. Coberturas Seleccionadas para la Clasificación Supervisada.

ID_Clasas identificadas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	2. Territorios agrícolas	2.2. Cultivos permanentes	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos (coca)
2	2. Territorios agrícolas	2.4. Áreas agrícolas	2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos

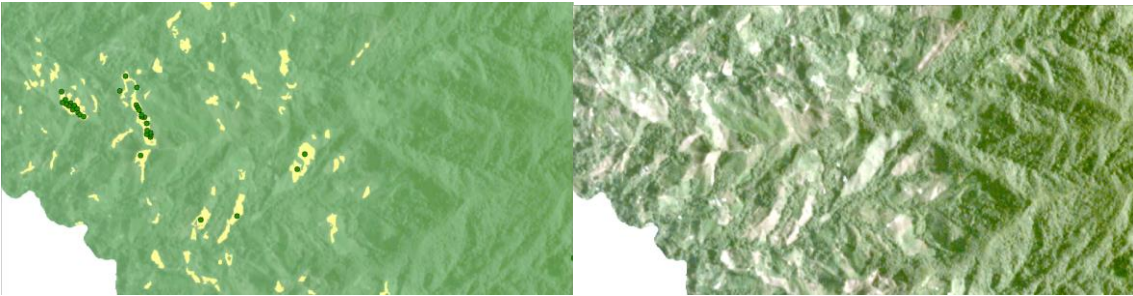
		heterogéneas	
3	3. bosques y áreas Seminaturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso
4			Cuerpos de agua
5			Sin información

Nota. Coberturas tomadas de la metodología Corine land cover.

9.1.4 Actividad 4 Generación de muestras.

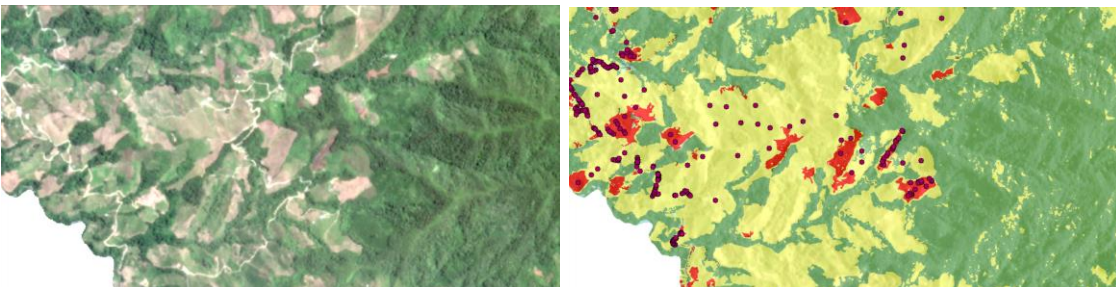
El Resultado de la asignación a cada píxel a la clase de cobertura con la mayor probabilidad de pertenencia, son muestras que se toman para luego generar la clasificación, a continuación, se visualiza el resultado.

Imagen 4. Muestras tomadas de la imagen satelital de septiembre del año 2020.



Nota. A la derecha se observa el resultado según las muestras obtenidas.

Imagen 5. Muestras tomadas de la imagen satelital de agosto del año 2024.



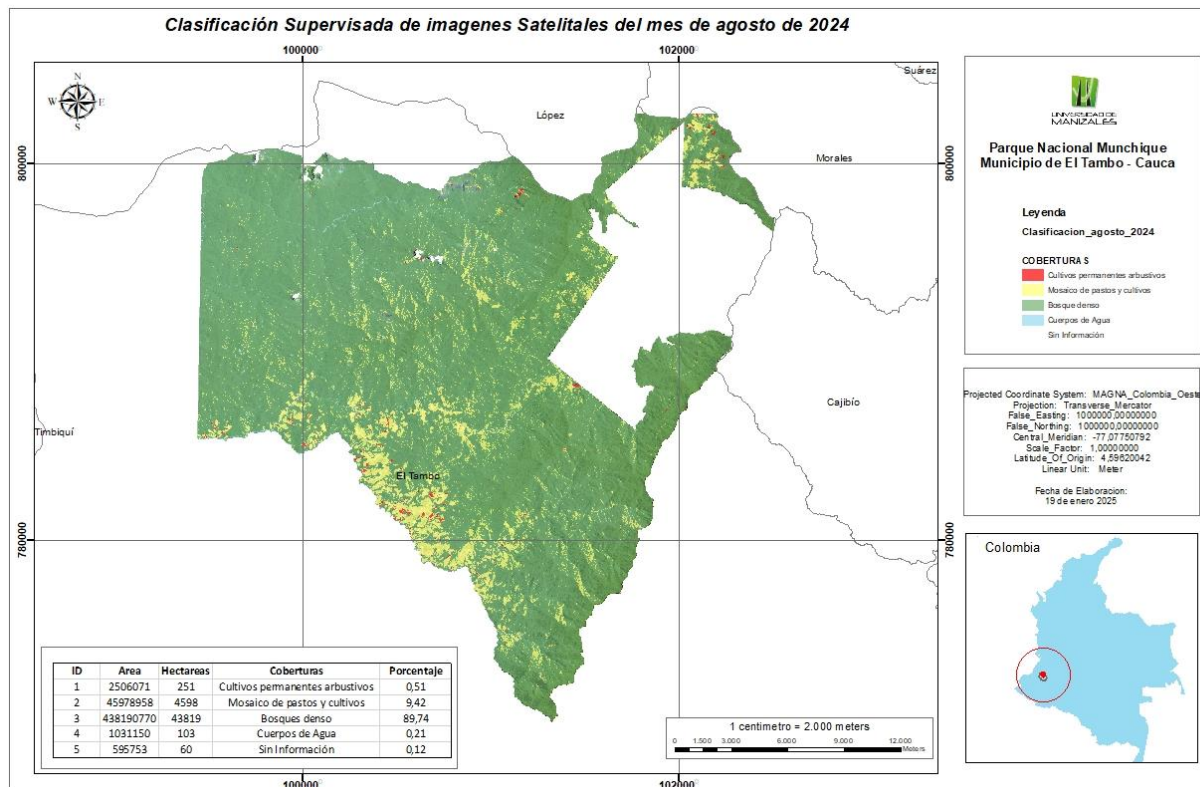
Nota. A la derecha se observa el resultado según las muestras obtenidas.

9.2 Fase 2 Análisis de los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema

9.2.1 Actividad 5 realizar la clasificación supervisada

Una vez realizada la clasificación supervisada de cinco (5) clases de coberturas (Bosques denso, Cultivo permanente arbustivos, Mosaico de pastos y cultivos, Cuerpos de Agua y capa sin información) mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes, como la creación de clases o firmas espectrales que se desarrolló con la identificación de los píxeles comunes de cada cobertura, seguida de la aplicación de la herramienta de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood Classification) se obtuvo el siguiente resultado para las fechas de agosto 2024 y septiembre 2020

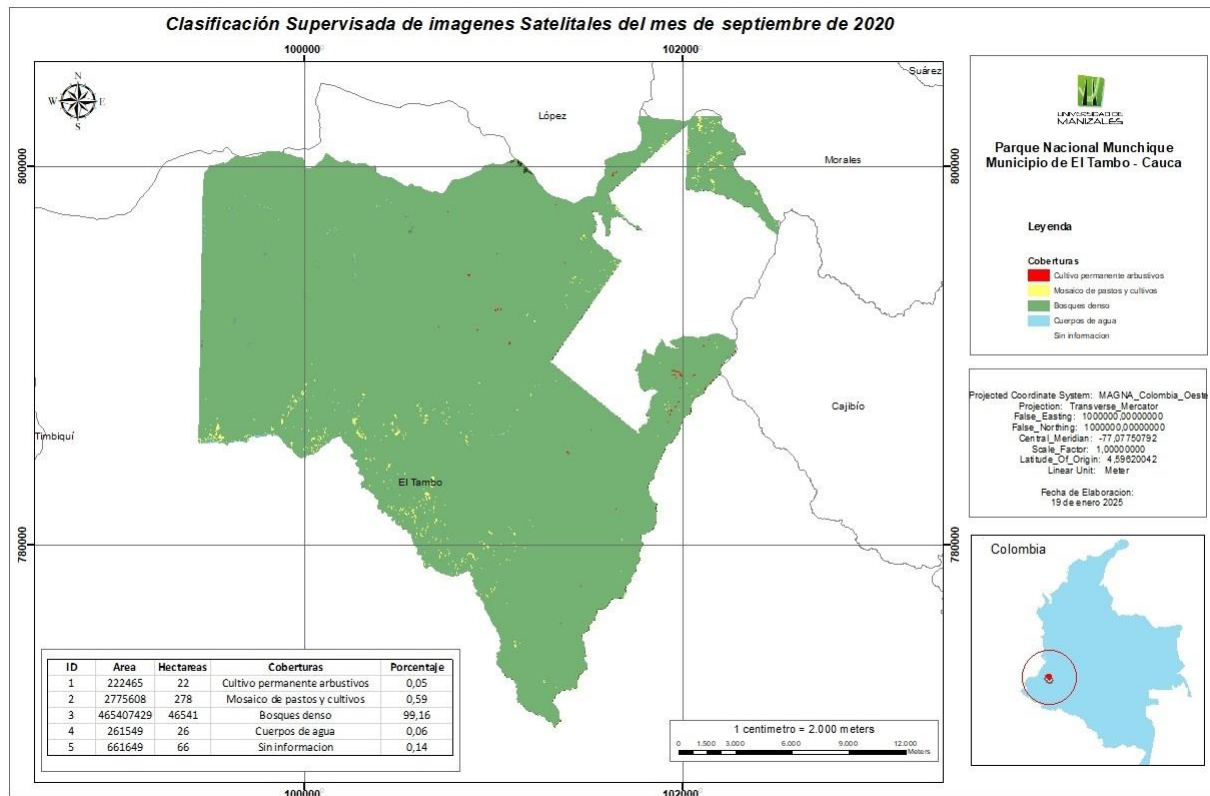
Imagen 6. Clasificación supervisada del mes de agosto 2024.



Nota. Resultado de la Clasificación supervisada de elaboración propia.

Se analizaron los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema en la cual se identificaron las coberturas en el Parque Nacional Natural Munchique. Los Bosques densos, correspondientes al Bosque Húmedo Tropical representan el 89,74 % de la cobertura total, mientras que las áreas de pastos y herbazales, resultado de la actividad humana en la región, abarcan un 9,42 %. Se observa que el fraccionamiento del Bosque Húmedo Tropical está asociado a la proximidad del centro poblado de Playa Rica, el cual está separado por el río Mechengue que es el límite arcifinio con el Parque Nacional Natural Munchique.

Imagen 7. Clasificación supervisada del mes de septiembre de 2020.



Según la imagen clasificada, se identificaron las coberturas del Parque Nacional Natural Munchique. Los Bosques densos, correspondientes al Bosque Húmedo Tropical, representan el

99,16 % de la cobertura total, mientras que las áreas de Mosaico de pastos y cultivos, resultado de la actividad humana en la región, abarcan un 0,59 %. Se observa que el fraccionamiento del Bosque Húmedo Tropical para el año 2020 es menor en comparación con el 2024, se puede definir que el fraccionamiento está asociado a la proximidad del centro poblado de Playa Rica, por tanto, del año 2020 al 2024 se tuvo un incremento en Bosque fragmentado de 9.42 % con un área de 2722 m².

9.2.2 Actividad 6 Validación visual de la Clasificación.

Una vez realizada la clasificación supervisada se valida de forma visual la información de algunos ejemplos representativos de coberturas como una de las formas de verificar los cambios, permitiendo diferenciar las variaciones para cada cobertura. Este análisis se considera pertinente en la comparación y posterior cálculo de estadística de clasificación supervisada como se muestra a continuación.

Tabla 3. Estadística de la clasificación de coberturas agosto 2024

ID	Área	Hectáreas	Coberturas	Porcentaje
1	438190770	43819	Bosques densos	89,74
2	2506071	251	Cultivo permanente arbustivos (coca)	0,51
3	45978958	4598	Mosaico de pastos y cultivos	9,42
4	1031150	103	Cuerpos de Agua	0,21
5	595753	60	Sin Información (nubes)	0,12

Nota. Coberturas según Corin Land Cover

Tabla 4. Estadística de clasificación de coberturas septiembre 2020.

ID	Área	Hectáreas	Coberturas	Porcentaje
1	465407429	46541	Bosques densos	99,16
2	222465	22	Cultivo permanente arbustivos (coca)	0,05
3	2775608	278	Mosaico de pastos y cultivos	0,59
4	261549	26	Cuerpos de agua	0,06
5	661649	66	Sin Información (nubes)	0,14

Nota. Coberturas según Corin Land Cover

9.3 Fase 3. Identificar y revisar indicadores para calcular e interpretar los niveles de fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.

9.3.1 Actividad 1 Revisar estudios previos sobre la fragmentación del bosque húmedo tropical, para aplicar los más adecuados al caso de estudio.

Se revisan estudios previos sobre la fragmentación de los bosques húmedos tropicales, centrándose en aquellos enfocados en áreas protegidas y bosques de alta biodiversidad. Se identificaron varios métodos para evaluar la fragmentación, índices de conectividad ecológica, de compactación y métricas de forma de parches.

Además, se destaca que el estudio de la conectividad ecológica es muy importante para comprender los impactos de la fragmentación sobre las especies y los ecosistemas. Algunos estudios anteriores han usado herramientas de SIG y el índice de continuidad como partes clave para evaluar la división del bosque húmedo tropical.

Finalmente se evidencia que las metodologías más aplicadas para la fragmentación en bosques húmedos tropicales incluyen el uso del índice de forma, el cálculo de la densidad de parches y el uso de modelos de conectividad basados en flujos de especies o la distancia entre parches.

9.3.2 Actividad 2 Definir y seleccionar los indicadores más relevantes y aplicables para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.

Se definen y seleccionan los siguientes indicadores clave para evaluar el grado de fragmentación de los bosques húmedos tropicales del Parque Nacional Natural Munchique:

Índice de diversidad de forma de Patton

Este índice es adecuado para medir la fragmentación del paisaje considerando la cantidad y la distribución de los parches de bosque. Es útil en paisajes como el de Munchique, en el área donde el bosque está fragmentado por factores naturales (ríos, montañas, cambios de altitud) y actividades humanas.

El cálculo se realiza mediante la ecuación:

$$DI = \frac{P}{2 * \sqrt{3,1416} * \sqrt{a}}$$

Fuente: Patton, 1975

Donde:

DI: Índice de diversidad de Patton

P: Perímetro de cada fragmento

a: Área de cada fragmento

Este índice se clasifica en 5 categorías según la siguiente tabla:

Forma	Índice (D.I)
Redondo	<1.25
Oval-Redondo	1.25≤1.50
Oval Oblongo	1.50≤1.75
Rectangular	1.76≤2

Amorfo o irregular >2

Fuente: Patton, 1975, citado por Lozano et al., 2011

Índice de compactación

Este índice es importante para la gestión y conservación de ecosistemas fragmentados, puesto que permite identificar áreas que requieren intervenciones para reducir la exposición a efectos negativos de la matriz circundante, tales como la pérdida de biodiversidad la degradación del hábitat.

El cálculo se realiza mediante la ecuación:

$$\frac{1}{DI}$$

Fuente: Lozano et al., 2011

DI: índice de diversidad de Patton

Índice de continuidad (o conectividad ecológica)

La continuidad mide la interconexión entre los fragmentos de bosque y la conectividad de los hábitats, lo cual es crucial para la supervivencia de especies y la dispersión genética. Este indicador es útil para evaluar si los parches de bosque están suficientemente conectados entre sí, permitiendo el flujo de especies y la restauración ecológica

El cálculo se realiza mediante la ecuación:

$$FCI = \ln \left(\frac{\sum A}{\sum P} \right)$$

Fuente: Lozano et al., 2011

FCI: índice de continuidad de Vogelmann

ΣA : área total de parches de bosque del paisaje en metros cuadrados

ΣP : perímetro total de parches de bosque del paisaje en metros

Índice de Continuidad (FCI): El índice de continuidad de Vogelmann relaciona el área total con los parches de bosque (ΣA) con el perímetro total de esos parches (ΣP).

9.3.3 Actividad 3

Se procedió a calcular los indicadores seleccionados utilizando los resultados de la clasificación supervisada, incluyendo solamente la cobertura de bosques densos (naturales). Con la herramienta ArcMap 10.8 se seleccionaron los fragmentos correspondientes a esta cobertura, se calculó el área y el perímetro y posteriormente se aplicó en la ecuación correspondiente para el cálculo de cada índice en Excel. Para ambos periodos analizados se seleccionaron fragmentos $\geq 100\text{m}^2$. En total se analizaron 121 fragmentos para el año 2020 y 1130 para el año 2024, como lo muestra las siguientes ilustraciones:

Imagen 8. Cálculo Índice de Patton Año 2020.

Table								
Índice de fragmentación año 2020								
FID	Shape *	gridcode	Coberturas	FRAGMENTOS	AREA M2	PERIMETRO	DI	FORMA
0	Polygon	1	Bosques naturales	F1	663,5673	141,730924	1,552089	Oval-Oblongo
1	Polygon	1	Bosques naturales	F2	120,396379	48,162777	1,238224	Redondo
2	Polygon	1	Bosques naturales	F3	156,358871	55,324338	1,2481	Redondo
3	Polygon	1	Bosques naturales	F4	246,197922	66,859971	1,202039	Redondo
4	Polygon	1	Bosques naturales	F5	142,111982	56,064432	1,326681	Oval-Redondo
5	Polygon	1	Bosques naturales	F6	153,390917	51,28831	1,168189	Redondo
6	Polygon	1	Bosques naturales	F7	216,696333	61,244119	1,173635	Redondo
7	Polygon	1	Bosques naturales	F8	342,330391	74,677533	1,138575	Redondo
8	Polygon	1	Bosques naturales	F9	505,013666	90,351411	1,134169	Redondo
9	Polygon	1	Bosques naturales	F10	207,048408	58,040066	1,137854	Redondo
10	Polygon	1	Bosques naturales	F11	160,045092	52,369985	1,167766	Redondo
11	Polygon	1	Bosques naturales	F12	526,749997	95,786427	1,177325	Redondo
12	Polygon	1	Bosques naturales	F13	267,836617	67,213147	1,158547	Redondo
13	Polygon	1	Bosques naturales	F14	128,327125	60,91188	1,516831	Oval-Oblongo
14	Polygon	1	Bosques naturales	F15	136,937005	47,7732	1,151645	Redondo
15	Polygon	1	Bosques naturales	F16	143,899794	54,236175	1,275421	Oval-Redondo
16	Polygon	1	Bosques naturales	F17	883,938275	123,187737	1,168829	Redondo
17	Polygon	1	Bosques naturales	F18	610,396458	112,440746	1,283844	Oval-Redondo
18	Polygon	1	Bosques naturales	F19	200,841286	71,175511	1,416768	Oval-Redondo
19	Polygon	1	Bosques naturales	F20	812,399075	170,100926	1,683513	Oval-Oblongo
20	Polygon	1	Bosques naturales	F21	236,820998	86,114812	1,578564	Oval-Oblongo
21	Polygon	1	Bosques naturales	F22	105,905814	46,57794	1,276777	Oval-Redondo
22	Polygon	1	Bosques naturales	F23	750,038647	236,995838	2,441144	Irregular
23	Polygon	1	Bosques naturales	F24	2339,617679	288,532929	1,682742	Oval-Oblongo
24	Polygon	1	Bosques naturales	F25	538,138002	119,452518	1,45259	Oval-Redondo
25	Polygon	1	Bosques naturales	F26	1973,151197	308,520084	1,959286	Rectangular
26	Polygon	1	Bosques naturales	F27	447,784788	137,68872	1,835516	Rectangular
27	Polygon	1	Bosques naturales	F28	360,818978	123,726713	1,837441	Rectangular
28	Polygon	1	Bosques naturales	F29	604,397288	182,795778	2,097488	Irregular
29	Polygon	1	Bosques naturales	F30	4067,321372	778,251248	3,442391	Irregular
30	Polygon	1	Bosques naturales	F31	721,600144	131,932269	1,385471	Oval-Redondo
31	Polygon	1	Bosques naturales	F32	156,770702	69,72905	1,570999	Oval-Oblongo
32	Polygon	1	Bosques naturales	F33	1096,584776	229,977039	1,959106	Rectangular
33	Polygon	1	Bosques naturales	F34	104,877006	48,533074	1,336879	Oval-Redondo
34	Polygon	1	Bosques naturales	F35	393,10234	141,572655	2,014286	Irregular
35	Polygon	1	Bosques naturales	F36	1307,093677	179,196153	1,398202	Oval-Redondo
36	Polygon	1	Bosques naturales	F37	307,187045	81,941956	1,318862	Oval-Redondo
37	Polygon	1	Bosques naturales	F38	311,90944	117,273286	1,873179	Rectangular
38	Polygon	1	Bosques naturales	F39	4368,56654	329,399664	1,40588	Oval-Redondo
39	Polygon	1	Bosques naturales	F40	257,007029	84,30182	1,483403	Oval-Redondo
40	Polygon	1	Bosques naturales	F41	160,037724	52,370123	1,167796	Redondo
41	Polygon	1	Bosques naturales	F42	365,162002	95,546	1,410471	Oval-Redondo
42	Polygon	1	Bosques naturales	F43	422,142787	86,199479	1,183503	Redondo
43	Polygon	1	Bosques naturales	F44	1032,318827	183,939445	1,614963	Oval-Oblongo
44	Polygon	1	Bosques naturales	F45	259,814276	69,747527	1,220652	Redondo
45	Polvoon	1	Bosques naturales	F46	147,972492	57,004666	1,321948	Oval-Redondo

0 (0 out of 121 Selected)

Índice de fragmentación año 2020

Imagen 9. Cálculo Índice de Patton Año 2024.

FID	Shape *	gridcode	COBERTURA	FRAGMENTOS	AREA M2	PERIMETRO	DI	FORMA
0	Polygon	1	Bosque Natural	F1	159,759121	76,437028	1,705947	Oval-Oblongo
1	Polygon	1	Bosque Natural	F2	392,810032	89,132047	1,268636	Oval-Redondo
2	Polygon	1	Bosque Natural	F3	113,585119	57,860066	1,531485	Oval-Oblongo
3	Polygon	1	Bosque Natural	F4	152,002959	53,396235	1,221741	Redondo
4	Polygon	1	Bosque Natural	F5	199,668852	81,029372	1,61764	Oval-Oblongo
5	Polygon	1	Bosque Natural	F6	208,473173	93,914524	1,834857	Rectangular
6	Polygon	1	Bosque Natural	F7	407,014928	118,907333	1,662639	Oval-Oblongo
7	Polygon	1	Bosque Natural	F8	168,841959	55,268058	1,199854	Redondo
8	Polygon	1	Bosque Natural	F9	812,255942	136,12756	1,347393	Oval-Redondo
9	Polygon	1	Bosque Natural	F10	736,468895	137,752193	1,431911	Oval-Redondo
10	Polygon	1	Bosque Natural	F11	246,899444	70,853809	1,272031	Oval-Redondo
11	Polygon	1	Bosque Natural	F12	244,845886	66,895827	1,206	Redondo
12	Polygon	1	Bosque Natural	F13	118,009598	46,936543	1,218841	Redondo
13	Polygon	1	Bosque Natural	F14	190,179215	68,421696	1,399609	Oval-Redondo
14	Polygon	1	Bosque Natural	F15	297,496074	69,67009	1,139463	Redondo
15	Polygon	1	Bosque Natural	F16	2935,703273	321,15446	1,672062	Oval-Oblongo
16	Polygon	1	Bosque Natural	F17	258,895362	71,548872	1,254398	Oval-Redondo
17	Polygon	1	Bosque Natural	F18	168,881114	58,691365	1,274026	Oval-Redondo
18	Polygon	1	Bosque Natural	F19	183,121827	56,222481	1,172019	Redondo
19	Polygon	1	Bosque Natural	F20	198,74541	65,337376	1,307398	Oval-Redondo
20	Polygon	1	Bosque Natural	F21	164,896465	59,859596	1,314991	Oval-Redondo
21	Polygon	1	Bosque Natural	F22	114,923918	49,064248	1,291084	Oval-Redondo
22	Polygon	1	Bosque Natural	F23	281,097121	72,030994	1,211953	Redondo
23	Polygon	1	Bosque Natural	F24	121,284638	58,7866	1,505809	Oval-Oblongo
24	Polygon	1	Bosque Natural	F25	299,961939	86,223499	1,404388	Oval-Redondo
25	Polygon	1	Bosque Natural	F26	539,367675	131,889329	1,601997	Oval-Oblongo
26	Polygon	1	Bosque Natural	F27	1883,494456	231,736991	1,506287	Oval-Oblongo
27	Polygon	1	Bosque Natural	F28	237,860406	77,513079	1,417779	Oval-Redondo
28	Polygon	1	Bosque Natural	F29	116,125265	56,63581	1,482594	Oval-Redondo
29	Polygon	1	Bosque Natural	F30	237,439728	67,965035	1,244238	Redondo
30	Polygon	1	Bosque Natural	F31	121,958972	48,790072	1,24629	Redondo
31	Polygon	1	Bosque Natural	F32	647,616552	145,19386	1,609474	Oval-Oblongo
32	Polygon	1	Bosque Natural	F33	154,395008	51,735621	1,174539	Redondo
33	Polygon	1	Bosque Natural	F34	159,14342	61,130858	1,366975	Oval-Redondo
34	Polygon	1	Bosque Natural	F35	100,466382	40,783528	1,147807	Redondo
35	Polygon	1	Bosque Natural	F36	335,323096	86,335671	1,330004	Oval-Redondo
36	Polygon	1	Bosque Natural	F37	240,719766	76,818452	1,396704	Oval-Redondo
37	Polygon	1	Bosque Natural	F38	222,849674	60,075332	1,135232	Redondo
38	Polygon	1	Bosque Natural	F39	107,816986	51,754236	1,406037	Oval-Redondo
39	Polygon	1	Bosque Natural	F40	201,356398	70,930869	1,410091	Oval-Redondo
40	Polygon	1	Bosque Natural	F41	10405,897684	756,020935	2,090685	Irregular
41	Polygon	1	Bosque Natural	F42	890,324007	169,281208	1,600403	Oval-Oblongo
42	Polygon	1	Bosque Natural	F43	440,544615	103,268842	1,387934	Oval-Redondo
43	Polygon	1	Bosque Natural	F44	423,489477	104,557978	1,433278	Oval-Redondo
44	Polygon	1	Bosque Natural	F45	112,205753	43,875285	1,168441	Redondo
45	Polvoon	1	Bosque Natural	F46	1104,614061	154,924853	1,314953	Oval-Redondo

Los resultados preliminares indicaron lo siguiente:

Tabla 5. Resultados del índice de Patton para el año 2020

Forma	Cantidad	Porcentaje
Redondo	47	39%
Oval-Redondo	47	39%
Oval Oblongo	14	12%
Rectangular	7	6%
Amorfo o irregular	6	5%
Total	121	100%

Tabla 6. Resultados del índice de Patton para el año 2024

Forma	Cantidad	Porcentaje
-------	----------	------------

Redondo	283	25%
Oval-Redondo	478	42%
Oval Oblongo	209	18%
Rectangular	59	5%
Amorfo o irregular	101	9%
Total	1130	100%

Según los resultados obtenidos para los 2 periodos, la mayoría de los fragmentos son Redondos u Oval-Redondo, seguidos por unos pocos fragmentos Irregulares y Rectangulares. Esto refleja una mayor tendencia a formas geométricas que tienden a ser más compactas, lo que indica menos fragmentación. Sin embargo, los fragmentos más irregulares o rectangulares podrían representar áreas más fragmentadas.

De acuerdo con los datos proporcionados, podemos observar que la mayoría de los fragmentos se clasifican como Redondos y Oval-Redondo, lo que indica que el paisaje está compuesto principalmente por fragmentos relativamente compactos, lo cual podría ser favorable para la conectividad ecológica.

Fragmentos con DI bajo (por ejemplo, Redondo) tienen áreas más pequeñas, pero con una mayor continuidad en comparación con los fragmentos con DI alto (Irregulares, Rectangulares), los cuales muestran mayor fragmentación debido a sus formas alargadas y dispersas.

Los fragmentos con formas irregulares son más susceptibles a la fragmentación ecológica, ya que tienen bordes más largos en comparación con sus áreas, lo que incrementa la cantidad de exposición ambiental.

Resultados índices de compactación:

Imagen 10. Cálculo Índice de compactación Año 2020.

Table

Índice de fragmentación año 2020

FID	Shape	gridcode	Coberturas	FRAGMENTOS	AREA M2	PERIMETRO	DI	FORMA	indice com	COMPACTACION
0	Polygon	1	Bosques naturales	F1	663,5673	141,730924	1,552089	Oval-Oblongo	0,644293	NO FRAGIL
1	Polygon	1	Bosques naturales	F2	120,396379	48,162777	1,238224	Redondo	0,807608	NO FRAGIL
2	Polygon	1	Bosques naturales	F3	156,358871	55,324338	1,2481	Redondo	0,801218	NO FRAGIL
3	Polygon	1	Bosques naturales	F4	246,197922	66,859971	1,202039	Redondo	0,83192	NO FRAGIL
4	Polygon	1	Bosques naturales	F5	142,111982	56,064432	1,326681	Oval-Redondo	0,75376	NO FRAGIL
5	Polygon	1	Bosques naturales	F6	153,390917	51,28831	1,168189	Redondo	0,856026	NO FRAGIL
6	Polygon	1	Bosques naturales	F7	216,696333	61,244119	1,173635	Redondo	0,852053	NO FRAGIL
7	Polygon	1	Bosques naturales	F8	342,330391	74,677533	1,138575	Redondo	0,878291	NO FRAGIL
8	Polygon	1	Bosques naturales	F9	505,013666	90,351411	1,134169	Redondo	0,881702	NO FRAGIL
9	Polygon	1	Bosques naturales	F10	207,048408	58,040066	1,137854	Redondo	0,878847	NO FRAGIL
10	Polygon	1	Bosques naturales	F11	160,045092	52,369985	1,167766	Redondo	0,856336	NO FRAGIL
11	Polygon	1	Bosques naturales	F12	526,749997	95,786427	1,177325	Redondo	0,849383	NO FRAGIL
12	Polygon	1	Bosques naturales	F13	267,836617	67,213147	1,158547	Redondo	0,86315	NO FRAGIL
13	Polygon	1	Bosques naturales	F14	128,327125	60,91188	1,516831	Oval-Oblongo	0,659269	NO FRAGIL
14	Polygon	1	Bosques naturales	F15	136,937005	47,7732	1,151645	Redondo	0,868323	NO FRAGIL
15	Polygon	1	Bosques naturales	F16	143,899794	54,236175	1,275421	Oval-Redondo	0,784055	NO FRAGIL
16	Polygon	1	Bosques naturales	F17	883,938275	123,187737	1,168829	Redondo	0,855557	NO FRAGIL
17	Polygon	1	Bosques naturales	F18	610,396458	112,440746	1,283844	Oval-Redondo	0,778911	NO FRAGIL
18	Polygon	1	Bosques naturales	F19	200,841286	71,175511	1,416768	Oval-Redondo	0,705832	NO FRAGIL
19	Polygon	1	Bosques naturales	F20	812,399075	170,100926	1,683513	Oval-Oblongo	0,593996	NO FRAGIL
20	Polygon	1	Bosques naturales	F21	236,820998	86,114812	1,578564	Oval-Oblongo	0,633487	NO FRAGIL
21	Polygon	1	Bosques naturales	F22	105,905814	46,57794	1,276777	Oval-Redondo	0,783222	NO FRAGIL
22	Polygon	1	Bosques naturales	F23	750,038647	236,995838	2,441144	Irregular	0,409644	FRAGIL
23	Polygon	1	Bosques naturales	F24	2339,617679	288,532929	1,682742	Oval-Oblongo	0,594268	NO FRAGIL
24	Polygon	1	Bosques naturales	F25	538,138002	119,452518	1,45259	Oval-Redondo	0,688426	NO FRAGIL
25	Polygon	1	Bosques naturales	F26	1973,151197	308,520084	1,959286	Rectangular	0,51039	FRAGIL
26	Polygon	1	Bosques naturales	F27	447,784788	137,68872	1,835516	Rectangular	0,544806	FRAGIL
27	Polygon	1	Bosques naturales	F28	360,818978	123,726713	1,837441	Rectangular	0,544235	FRAGIL
28	Polygon	1	Bosques naturales	F29	604,397288	182,795778	2,097488	Irregular	0,476761	FRAGIL
29	Polygon	1	Bosques naturales	F30	4067,321372	778,251248	3,442391	Irregular	0,290496	FRAGIL
30	Polygon	1	Bosques naturales	F31	721,600144	131,932269	1,385471	Oval-Redondo	0,721776	NO FRAGIL
31	Polygon	1	Bosques naturales	F32	156,770702	69,72905	1,570999	Oval-Oblongo	0,636538	NO FRAGIL
32	Polygon	1	Bosques naturales	F33	1096,584776	229,977039	1,959106	Rectangular	0,510437	FRAGIL
33	Polygon	1	Bosques naturales	F34	104,877006	48,533074	1,336879	Oval-Redondo	0,748011	NO FRAGIL
34	Polygon	1	Bosques naturales	F35	393,10234	141,572655	2,014286	Irregular	0,496454	FRAGIL
35	Polygon	1	Bosques naturales	F36	1307,093677	179,196153	1,398202	Oval-Redondo	0,715204	NO FRAGIL
36	Polygon	1	Bosques naturales	F37	307,187045	81,941956	1,318862	Oval-Redondo	0,758229	NO FRAGIL
37	Polygon	1	Bosques naturales	F38	311,90944	117,273286	1,873179	Rectangular	0,533852	FRAGIL
38	Polygon	1	Bosques naturales	F39	4368,56654	329,399664	1,40588	Oval-Redondo	0,711298	NO FRAGIL
39	Polygon	1	Bosques naturales	F40	257,007029	84,30182	1,483403	Oval-Redondo	0,674126	NO FRAGIL
40	Polygon	1	Bosques naturales	F41	160,037724	52,370123	1,167796	Redondo	0,856314	NO FRAGIL
41	Polygon	1	Bosques naturales	F42	365,162002	95,546	1,410471	Oval-Redondo	0,708983	NO FRAGIL
42	Polygon	1	Bosques naturales	F43	422,142787	86,199479	1,183503	Redondo	0,844949	NO FRAGIL
43	Polygon	1	Bosques naturales	F44	1032,318827	183,939445	1,614963	Oval-Oblongo	0,619209	NO FRAGIL
44	Polygon	1	Bosques naturales	F45	259,814276	69,747527	1,220652	Redondo	0,819234	NO FRAGIL
45	Polygon	1	Bosques naturales	F46	147,972492	57,004666	1,321948	Oval-Redondo	0,756459	NO FRAGIL

Índice de fragmentación año 2020

Imagen 11. Cálculo índice de compactación Año 2024

FID	Shape *	gridcode	COBERTURA	FRAGMENTOS	AREA M2	PERIMETRO	DI	FORMA	indice com	COMPACTACION
0	Polygon	1	Bosque Natural	F1	159,759121	76,437028	1,705947	Oval-Oblongo	0,586185	NO FRAGIL
1	Polygon	1	Bosque Natural	F2	392,810032	89,132047	1,268636	Oval-Redondo	0,788248	NO FRAGIL
2	Polygon	1	Bosque Natural	F3	113,585119	57,860066	1,531485	Oval-Oblongo	0,652961	NO FRAGIL
3	Polygon	1	Bosque Natural	F4	152,002959	53,396235	1,221741	Redondo	0,818504	NO FRAGIL
4	Polygon	1	Bosque Natural	F5	199,668852	81,029372	1,61764	Oval-Oblongo	0,618185	NO FRAGIL
5	Polygon	1	Bosque Natural	F6	208,473173	93,914524	1,834857	Rectangular	0,545002	FRAGIL
6	Polygon	1	Bosque Natural	F7	407,014928	118,907333	1,662639	Oval-Oblongo	0,601453	NO FRAGIL
7	Polygon	1	Bosque Natural	F8	168,841959	55,268058	1,199854	Redondo	0,833434	NO FRAGIL
8	Polygon	1	Bosque Natural	F9	812,255942	136,12756	1,347393	Oval-Redondo	0,742174	NO FRAGIL
9	Polygon	1	Bosque Natural	F10	736,468895	137,752193	1,431911	Oval-Redondo	0,698368	NO FRAGIL
10	Polygon	1	Bosque Natural	F11	246,899444	70,853809	1,272031	Oval-Redondo	0,786144	NO FRAGIL
11	Polygon	1	Bosque Natural	F12	244,845886	66,895827	1,206	Redondo	0,829188	NO FRAGIL
12	Polygon	1	Bosque Natural	F13	118,009598	46,936543	1,218841	Redondo	0,820452	NO FRAGIL
13	Polygon	1	Bosque Natural	F14	190,179215	68,421696	1,399609	Oval-Redondo	0,714485	NO FRAGIL
14	Polygon	1	Bosque Natural	F15	297,496074	69,67009	1,139463	Redondo	0,877606	NO FRAGIL
15	Polygon	1	Bosque Natural	F16	2935,703273	321,15446	1,672062	Oval-Oblongo	0,598064	NO FRAGIL
16	Polygon	1	Bosque Natural	F17	258,895362	71,548872	1,254398	Oval-Redondo	0,797195	NO FRAGIL
17	Polygon	1	Bosque Natural	F18	168,881114	58,691365	1,274026	Oval-Redondo	0,784913	NO FRAGIL
18	Polygon	1	Bosque Natural	F19	183,121827	56,222481	1,172019	Redondo	0,853229	NO FRAGIL
19	Polygon	1	Bosque Natural	F20	198,74541	65,337376	1,307398	Oval-Redondo	0,764878	NO FRAGIL
20	Polygon	1	Bosque Natural	F21	164,896485	59,859596	1,314991	Oval-Redondo	0,760462	NO FRAGIL
21	Polygon	1	Bosque Natural	F22	114,923918	49,064248	1,291084	Oval-Redondo	0,774543	NO FRAGIL
22	Polygon	1	Bosque Natural	F23	281,097121	72,030994	1,211953	Redondo	0,825115	NO FRAGIL
23	Polygon	1	Bosque Natural	F24	121,284638	58,7866	1,505809	Oval-Oblongo	0,664095	NO FRAGIL
24	Polygon	1	Bosque Natural	F25	299,961939	86,223499	1,404388	Oval-Redondo	0,712054	NO FRAGIL
25	Polygon	1	Bosque Natural	F26	539,367675	131,889329	1,601997	Oval-Oblongo	0,624221	NO FRAGIL
26	Polygon	1	Bosque Natural	F27	1883,494456	231,736991	1,506287	Oval-Oblongo	0,663884	NO FRAGIL
27	Polygon	1	Bosque Natural	F28	237,860406	77,513079	1,417779	Oval-Redondo	0,705329	NO FRAGIL
28	Polygon	1	Bosque Natural	F29	116,125265	56,63581	1,482594	Oval-Redondo	0,674493	NO FRAGIL
29	Polygon	1	Bosque Natural	F30	237,439728	67,965035	1,244238	Redondo	0,803705	NO FRAGIL
30	Polygon	1	Bosque Natural	F31	121,958972	48,790072	1,24629	Redondo	0,802381	NO FRAGIL
31	Polygon	1	Bosque Natural	F32	647,616552	145,19386	1,609474	Oval-Oblongo	0,621321	NO FRAGIL
32	Polygon	1	Bosque Natural	F33	154,395008	51,735621	1,174539	Redondo	0,851398	NO FRAGIL
33	Polygon	1	Bosque Natural	F34	159,14342	61,130858	1,368975	Oval-Redondo	0,731542	NO FRAGIL
34	Polygon	1	Bosque Natural	F35	100,466382	40,783528	1,147807	Redondo	0,871226	NO FRAGIL
35	Polygon	1	Bosque Natural	F36	335,323096	86,335671	1,330004	Oval-Redondo	0,751877	NO FRAGIL
36	Polygon	1	Bosque Natural	F37	240,719766	76,818452	1,396704	Oval-Redondo	0,715972	NO FRAGIL
37	Polygon	1	Bosque Natural	F38	222,849674	60,075332	1,135232	Redondo	0,880877	NO FRAGIL
38	Polygon	1	Bosque Natural	F39	107,816986	51,754236	1,406037	Oval-Redondo	0,711219	NO FRAGIL
39	Polygon	1	Bosque Natural	F40	201,356398	70,930869	1,410091	Oval-Redondo	0,709174	NO FRAGIL
40	Polygon	1	Bosque Natural	F41	10405,897684	756,020935	2,090685	Irregular	0,478312	FRAGIL
41	Polygon	1	Bosque Natural	F42	890,324007	169,281208	1,600403	Oval-Oblongo	0,624843	NO FRAGIL
42	Polygon	1	Bosque Natural	F43	440,544615	103,268842	1,387934	Oval-Redondo	0,720495	NO FRAGIL
43	Polygon	1	Bosque Natural	F44	423,489477	104,557978	1,433278	Oval-Redondo	0,697701	NO FRAGIL
44	Polygon	1	Bosque Natural	F45	112,205753	43,875285	1,168441	Redondo	0,855841	NO FRAGIL
45	Polygon	1	Bosque Natural	F46	1104,614061	154,924853	1,314953	Oval-Redondo	0,760483	NO FRAGIL

Tabla 7. Índice de compactación para el año 2020

Forma	Cantidad	Porcentaje	Compactación
Redondo	47	39%	No frágil
Oval-Redondo	47	39%	No frágil
Oval Oblongo	14	12%	No frágil
Rectangular	7	6%	Frágil
Amorfo o irregular	6	5%	Frágil
Total	121	100%	

Tabla 8. Índice de compactación para el año 2024

Forma	Cantidad	Porcentaje	Compactación
Redondo	283	25%	No frágil
Oval-Redondo	478	42%	No frágil

Oval Oblongo	209	18%	No frágil
Rectangular	59	5%	Frágil
Amorfo o irregular	101	9%	frágil
Total	1130	100%	

Ambos años muestran una tendencia hacia la clasificación de fragmentos como "No frágil", lo que indica que, en términos generales, los fragmentos mantienen una buena estabilidad en la compactación. No obstante, algunos de los fragmentos más frágiles en 2020 tienen valores más altos en 2024, lo que puede sugerir una ligera mejora en la resistencia o una menor vulnerabilidad.

Aunque en ambos años existen fragmentos clasificados como "frágiles", el número de estos ha disminuido en 2024 en comparación con 2020, lo que podría sugerir una mejora en las prácticas de manejo o en las condiciones ambientales que afectan la compactación.

En términos de valores, los fragmentos con calificaciones más bajas en 2020 eran más evidentes (alrededor de 0.16), mientras que en 2024 los valores más bajos son algo más altos (aproximadamente 0.24), lo que podría implicar que el área general está experimentando una mejor resistencia a las alteraciones ambientales.

Aunque ambos períodos muestran que la mayoría de los fragmentos están fuera de la categoría "frágil", las mediciones del 2024 reflejan una ligera mejora en la estabilidad general comparada con el 2020. Sin embargo, se debe seguir monitoreando los fragmentos más cercanos al umbral de fragilidad, especialmente aquellos con valores cercanos a 0.4 y 0.5, para asegurar la preservación y el manejo adecuado del ecosistema.

Este análisis se basa en las variaciones de los valores de compactación entre los dos periodos.

Resultados para el índice de Continuidad:

Año 2020

Área Total (ΣA): 465,393,723.3 m²

Perímetro Total (ΣP): 502,934,059.2 m

Índice de Continuidad (FCI): 6.83

Año 2024

Área Total (ΣA): 438,086,383.4 m²

Perímetro Total (ΣP): 1,382,787,244 m

Índice de Continuidad (FCI): 5.75

El FCI en el año 2024 (5.758) es menor que en el año 2020 (6.83), lo que refleja un aumento en la fragmentación en el paisaje. Este descenso en el índice indica que el paisaje se ha vuelto más discontinuo.

El perímetro total aumentó de 502,934,059.2 m en el año 2020 a 1,382,787,244 m en el año 2024. Este aumento significativo en el perímetro puede indicar que hay más bordes entre los parches, lo que contribuye a la fragmentación del ecosistema.

El área total en 2024 también ha disminuido a 438,086,383.4 m² desde 465,393,723.3 m² en 2020, lo que puede reflejar una reducción en el tamaño de los parches de bosque, contribuyendo también a la fragmentación.

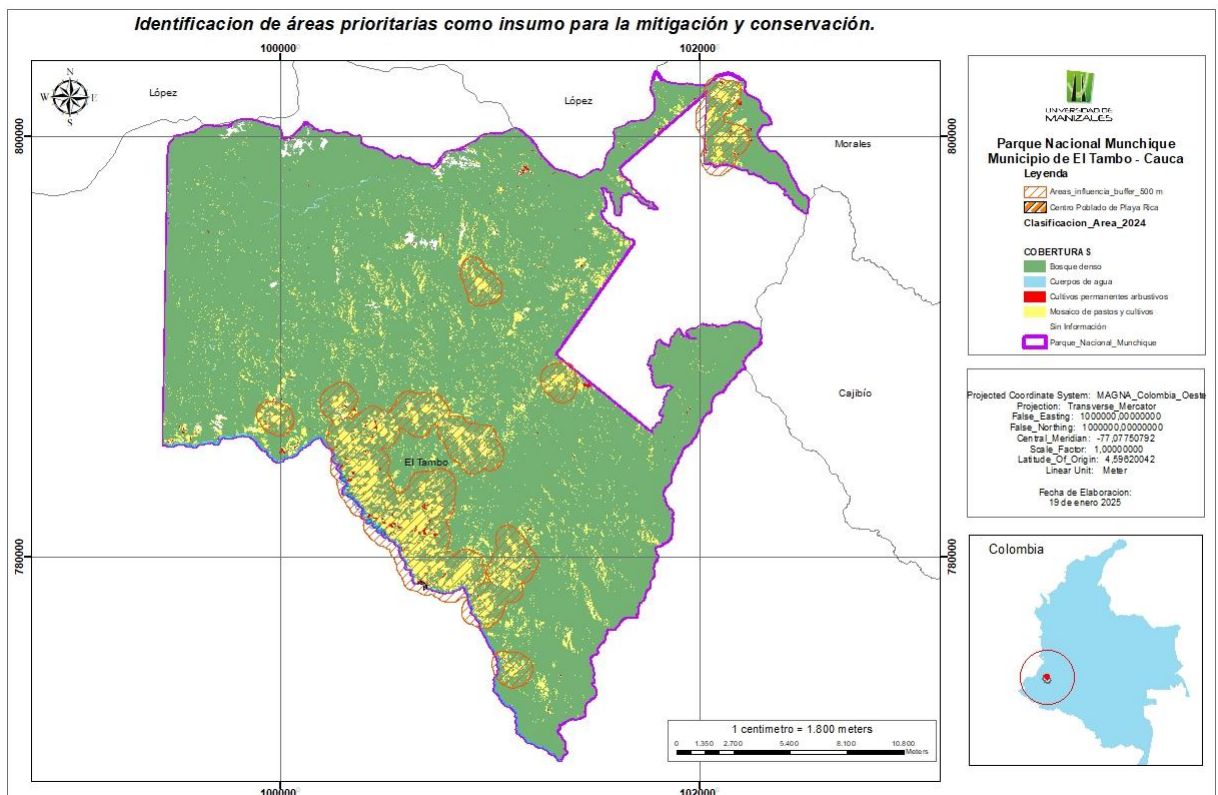
La disminución en el valor del FCI de 6.83 en 2020 a 5.758 en 2024 indica una mayor fragmentación y menor continuidad en el ecosistema durante el periodo analizado. El aumento

del perímetro y la reducción del área reflejan un paisaje más fragmentado, lo que podría tener implicaciones para la biodiversidad y los procesos ecológicos.

9.4 Fase 4. Identificar áreas prioritarias para la conservación y mitigación en función de los resultados del análisis de fragmentación.

Una vez se tienen las clases de cobertura, se procede con el programa ArcMap 10.8 para sacar de la capa de Mosaico de pastos y cultivos todos los polígonos que tengan un área entre las 20 ha +1062 m² y 272 ha + 4191 m² cuyas áreas son representativas en cuanto a una mayor presión de la frontera agrícola, para una mejor visualización de estas áreas se realizó un Buffer de 500 metros, para tener identificadas zonas de influencia, y poder, con este insumo generar programas de restauración y conservación.

Imagen 12. Identificación de áreas prioritarias para planes de mitigación y conservación.



10. Discusión de resultados

Con base en los resultados obtenidos del análisis sobre la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique, se pueden analizar y discutir los siguientes aspectos:

10.1 Con base en el análisis de los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema

Los resultados obtenidos en el análisis de fragmentación del Parque Nacional Natural Munchique entre los años 2020 y 2024 muestran cambios significativos en los índices clave, lo cual permite interpretar la dinámica del paisaje y su impacto ecológico.

Incremento en la fragmentación (2020 - 2024), obteniendo que para el año 2020 el Bosque Húmedo Tropical representaba el 99,16% de la cobertura total, lo cual indicaba un paisaje predominantemente intacto.

En 2024, esta cobertura se redujo significativamente al 89,74%, lo que refleja una mayor fragmentación del bosque, influenciada principalmente por actividades humanas dado el incremento del Mosaico de pastos y cultivos que pasó de 0,59% en 2020 a 9,42% en 2024.

Este aumento en el fraccionamiento, especialmente en áreas cercanas al centro poblado de Playa Rica, puede estar relacionado con la expansión de la frontera agrícola y el impacto de actividades humanas en áreas protegidas.

10.3 Análisis de Coberturas Identificadas

Las coberturas predominantes, como los Bosques densos, han disminuido no solo en porcentaje, sino también en áreas intactas. Esto sugiere una presión creciente sobre el ecosistema debido a la proximidad de actividades humanas.

Las coberturas secundarias, como Cultivo permanente arbustivos (coca) y Cuerpos de agua, mantienen valores estables, pero representan indicadores clave de cambios inducidos por el uso del suelo.

10.4 De acuerdo los indicadores seleccionados para medir la fragmentación del bosque húmedo tropical en el Parque Nacional Natural Munchique.

10.4.1 El índice de Patton:

En el año 2020 la mayoría de los fragmentos fueron clasificados como Redondos (39%) y Oval-Redondos (39%), lo que sugiere una tendencia hacia formas geométricas más compactas y favorables para la conectividad ecológica. Sin embargo, en 2024, aunque el porcentaje de Oval-Redondos creció significativamente hasta el 42%, el número de fragmentos Amorfos o Irregulares también aumentó al 9%, lo que podría indicar un incremento en la fragmentación en áreas específicas.

La evolución de las formas más irregulares sugiere una mayor presión de factores externos, como actividades humanas o eventos naturales, que incrementan la vulnerabilidad de los fragmentos al aislamiento.

10.4.2 Índice de compactación:

Aunque ambos años muestran que la mayoría de los fragmentos se encuentran fuera de la categoría "FRÁGIL", el análisis de tendencias refleja una mejora general en la estabilidad de la compactación en 2024 respecto a 2020. Esto podría ser consecuencia de esfuerzos de manejo más efectivos o cambios en las dinámicas del uso del suelo.

Sin embargo, los fragmentos cercanos al umbral de fragilidad (valores cercanos a 0.4 o 0.5) requieren monitoreo constante, ya que representan áreas críticas para la conservación.

10.4.3 Índice de Continuidad (FCI)

El valor del FCI disminuyó de 6.83 en 2020 a 5.758 en 2024, lo que evidencia un aumento en la fragmentación del paisaje. Esto implica una menor conectividad entre los parches de bosque y podría dificultar el movimiento de especies y los flujos genéticos.

El incremento significativo en el perímetro total de los fragmentos (de 502,934,059.2 m en 2020 a 1,382,787,244 m en 2024) y la reducción del área total reflejan una mayor cantidad de bordes, lo que aumenta la exposición de los fragmentos a la influencia de la matriz circundante.

Basándose en los resultados, las áreas más vulnerables identificadas a partir de las zonas de influencia y los polígonos críticos deben ser el foco de programas de restauración y manejo.

Los fragmentos con mayor conectividad deben protegerse como corredores ecológicos clave, mientras que los parches más frágiles requerirán estrategias específicas de intervención, como la reducción de actividades humanas en sus alrededores.

10.4.4 Impacto de la Fragmentación

La reducción del Bosque Húmedo Tropical y el aumento del Mosaico de pastos y cultivos afecta negativamente la biodiversidad y la conectividad del paisaje. Las áreas fragmentadas dificultan el flujo de especies, la dispersión genética y la capacidad de los ecosistemas de adaptarse a los cambios ambientales.

La creciente fragmentación incrementa la cantidad de bordes expuestos, lo que eleva el riesgo de degradación y pérdida de hábitat.

Proximidad al Centro Poblado

La cercanía del centro poblado de Playa Rica y el límite natural del río Mechengue amplifican los impactos sobre los fragmentos de bosque, evidenciando la necesidad de estrategias de manejo específicas en estas zonas.

11. Conclusiones

En la caracterización de las coberturas mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes se logra tener una identificación clara y precisa, en la creación de las firmas espectrales se debe tener una identificación de cada uno de los píxeles, en el caso de que se requiera profundizar se hace necesaria la visita a terreno.

Para el análisis de los cambios espaciales y temporales en las coberturas del área de estudio para comprender la dinámica de la fragmentación del ecosistema se puede realizar con una resolución de 4.7 metros, para ello implica un muestreo detallado de las coberturas por cada píxel, entre mayor sea el área de estudio mayor será las muestras que se deben tomar para crear las firmas espectrales.

El Parque Nacional Munchique, reconocido por su biodiversidad y relevancia ecológica, mantiene un buen estado general de conservación, según los análisis de imágenes satelitales de 2020 y 2024. Ambos estudios destacan la predominancia de bosques naturales, lo que refleja un ecosistema robusto. Sin embargo, también se identificaron signos de presión ambiental, como áreas de suelos desnudos y fragmentación del paisaje, posiblemente relacionadas con actividades humanas, eventos naturales y el cambio climático.

La comparación de estas imágenes subraya la importancia de realizar monitoreos periódicos y análisis temporales para evaluar cambios en la cobertura terrestre. Además, es crucial complementar los datos satelitales con información de campo, lo que permitirá una comprensión más profunda de las dinámicas que afectan el parque. Estos resultados evidencian la necesidad de

implementar estrategias de conservación, tales como la restauración de áreas degradadas, la protección de los ecosistemas forestales y la promoción de prácticas sostenibles de uso del suelo.

Los resultados de este estudio resaltan la importancia de implementar estrategias de conservación y manejo sostenible del Parque Nacional Munchique, enfocadas en la protección de los ecosistemas forestales, la restauración de áreas degradadas y la promoción de prácticas de uso de la tierra sostenibles. El monitoreo continuo de los cambios en la cobertura terrestre permitirá evaluar la efectividad de estas medidas y ajustar las estrategias de gestión según sea necesario.

Los indicadores de fragmentación analizados evidencian que el Parque Nacional Natural Munchique enfrenta desafíos importantes en términos de conectividad ecológica y fragmentación de los bosques. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias de conservación que mejoren la conectividad y reduzcan la fragmentación, como la creación de corredores ecológicos o la restauración de áreas degradadas.

Se identificaron áreas prioritarias para la conservación y mitigación en función de los resultados del análisis de fragmentación y los patrones espaciales detectados.

12. Recomendaciones

Para asegurar la preservación a largo plazo de este ecosistema, es esencial ajustar las estrategias de manejo según los hallazgos del monitoreo continuo, enfocándose en minimizar las presiones humanas y mitigar los impactos del cambio climático. De este modo, el Parque Nacional Munchique puede seguir siendo un bastión de biodiversidad y un ejemplo de manejo ambiental sostenible.

Las áreas sin información y los posibles cambios en las coberturas a lo largo del tiempo resaltan la importancia de realizar monitoreos periódicos para evaluar la evolución del Parque. Aunque representan un porcentaje menor (0.12%), las áreas sin información podrían corresponder a zonas con cobertura vegetal densa, sombras persistentes o dificultades en la adquisición de datos, y merecen atención en futuros estudios.

Establecer sistemas de monitoreo para evaluar cambios en las coberturas y la fragmentación, utilizando herramientas como imágenes de satélite de alta resolución y análisis de estadísticas espaciales.

Controlar las actividades humanas que ejercen presión sobre el bosque, especialmente aquellas relacionadas con el incremento del Mosaico de pastos y cultivos.

Implementar programas de reforestación en los fragmentos más pequeños que particularmente son los más afectados y crear corredores ecológicos que conecten las áreas más vulnerables. La restauración de fragmentos pequeños o la expansión de áreas boscosas mediante

plantaciones de especies nativas pueden ayudar a aumentar el tamaño de los fragmentos y reducir los efectos negativos de la fragmentación.

Proveer incentivos para que las empresas o los propietarios de tierras mantengan bosques en su estado natural o implementen prácticas de manejo sostenible.

13. Referencias

- Ahern, B. L. (2002). *Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning*. *Landscape and Urban Planning*, 59(2), 65–93.. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204602000051>
- al, L. e. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation (7ª ed.)*. Wiley. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289>
- Armenteras. (2003). *Andean Forest Fragmentation and the Representativeness of Protected Areas in the Eastern Andes, Colombia*. *Biological Conservation*. Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1758712&utm_source
- Bennett. (2003). *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation (2ª ed.)*. IUCN–The World Conservation Union. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/fr-021.pdf>
- Bonan. (2008). *Captura de carbono ante el cambio climático*. Obtenido de https://www.academia.edu/66267013/Captura_de_carbono_ante_el_cambio_clim%C3%A1tico?utm
- Bonpland, H. &. (1807). *Essay on the Geography of Plants*. Obtenido de <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/E/bo6040531.html?utm>
- Cadenasso, P. &. (1995). *andscape ecology: Spatial heterogeneity in ecological systems*. *Science*, 269(5222), 331–334. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/science.269.5222.331>
- Collinge. (1996). *Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for landscape architecture and planning*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204696003416>
- Congreso. (1974). *Congreso de Colombia. (1974). Decreto-Ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial No. 34.243*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-2811-de-1974.pdf>
- Crooks. (2006). *Connectivity Conservation: Maintaining Connections for Nature*. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1757149>

- Defries, R. y. (2002). *Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(22), 14256–14261. Obtenido de <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.182560099>
- Didham, E. y. (2006). *Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. Biological Reviews*, 81(1), 117–142. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16318651/>
- Echeverry, M. A., & Rodríguez, J. M. (2006). *Dialnet-EstadoDeFragmentacionDeLosBosquesNaturalesEnElNort-3944231.pdf*. Obtenido de [https://www.google.com/search?q=El+estudio+de+Echeverry+y+Rodr%C3%ADguez+\(2006\)+titulado+%22An%C3%A1lisis+de+un+paisaje+fragmentado+como+herramienta+para+la+conservaci%C3%B3n+de+la+biodiversidad+en+%C3%A1reas+de+bosque+seco+y+subh%C3%BAmedo+tropical+en+el](https://www.google.com/search?q=El+estudio+de+Echeverry+y+Rodr%C3%ADguez+(2006)+titulado+%22An%C3%A1lisis+de+un+paisaje+fragmentado+como+herramienta+para+la+conservaci%C3%B3n+de+la+biodiversidad+en+%C3%A1reas+de+bosque+seco+y+subh%C3%BAmedo+tropical+en+el)
- Elsevier. (2021). *Journal of Hydrology*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169422012513?via%3Dihub>
- Fahrig. (2003). *Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515. Obtenido de <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- FAO. (2020). *El estado de los bosques del mundo*. Obtenido de https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e35f4f7b-fa71-4f75-8dd4-e22de81ba1fa/content?utm_source
- Farina. (2000). *Principles and Methods in Landscape Ecology. Springer*. Obtenido de <https://link.springer.com/book/10.1007/1-4020-3329-X>
- Forman. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press*. Obtenido de <https://www.cambridge.org/co/universitypress/subjects/life-sciences/ecology-and-conservation/land-mosaics-ecology-landscapes-and-regions?format=PB&isbn=9780521479806>
- Galindo. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la generación de coberturas de la tierra a partir de imágenes RapidEye. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*. Obtenido de

- <https://observatorio.epacartagena.gov.co/ftp-uploads/pub-protocoloprocesamientodigital2.pdf>
- Gentry. (1988). *Changes in Plant Community Diversity and Floristic Composition on Environmental and Geographical Gradients. Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, 1-34. Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2015069&utm_source=chatgpt.com
- Gentry. (1988). *Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients.* Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2015069>
- Gleason. (s.f.). *Gleason's Publications as a Field Ecologist.* Obtenido de https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780199830060/obo-9780199830060-0167.xml?utm_source
- Gómez. (2021). *Madera bosques vol.27 no.2 Xalapa* . Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712021000200203
- Hansen. (2013). *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science*, 342(6160), 850–853. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693>
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000
- Maya Girón, A. M., Becoche Mosquera, J. M., & Gómez Bernal, L. G. (2023). Monitoreo de un bosque subandino en proceso de restauración en el Parque Nacional Natural Munchique. Obtenido de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/1095>
- Laurance. (2002). *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities.* Obtenido de https://press.uchicago.edu/Misc/Chicago/468992sp.html?utm_source

- Laurance. (2006). *Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75(1), 1–34. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2399464?origin=crossref>
- LJM, D. G. (2005). *la cobertura biofísica observable sobre la superficie de la tierra*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/y7220e/y7220e00.htm>
- Loucks, S. W. (1995). *From balance of nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology*. . Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/3035824>
- Lozano Botache, L. A., Gómez Aguilar, F. A., & Valderrama Chaves, S. (2011). *Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Area-de-estudio-de-la-fragmentacion-de-los-bosques-naturales-en-el-norte-del_fig1_277270917?utm_source
- M.M.AMBIENTE. (1996). *Decreto 1791 de 1996: Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. Diario Oficial No. 42.923*. . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1296>
- Malhi. (2008). *Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon*. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1146961>
- Myers. (2000). *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/35002501>
- Nepstad. (2006). *Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/6877189_Inhibition_of_Amazon_Deforestation_and_Fire_by_Parks_and_Indigenous_Lands
- Noss, B. y. (1998). *Do habitat corridors provide connectivity? Conservation Biology*, 12(6), 1241–1252. Obtenido de <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
- Odum. (1971). *Fundamentals of Ecology (3ª ed.)*. W.B. Saunders. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1526688>
- Otero, A.-S. &. (2012). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2015000300012

- Patton, D.R. (1975). A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin*, 3, 171-173.
- Phillips. (2017). *Application of Technical and Soft Skills in the First Job Experience by Accountancy Graduates in the Philippines: Implications for Accounting Curriculum Development*. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3035321>
- Raven, D. &. (2003). *FACTORES DE CAMBIO.pdf*. Obtenido de <https://spc.conanp.gob.mx/FACTORES%20DE%20CAMBIO.pdf?utm>
- Richards. (1952). *Ecology of the Tropical Rain Forest*. Obtenido de https://www.nature.com/articles/172177a0?utm_source
- Richards. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction (5ª ed.)*. Springer. Obtenido de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-82327-6>
- Rincón-Romero, J. &. (2012). *Cobertura vegetal de Colombia actualizada a partir de imágenes MODIS disponible a través de Renata*. *e-Colabora*, 2(4), 41635. Obtenido de <https://modis.ornl.gov/publications.html>
- Roy. (2008). *The impact of misregistration on Landsat*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=The+impact+of+misregistration+on+Landsat&rlz=1C1UEAD_esCO945CO945&oq=The+impact+of+misregistration+on+Landsat&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigATIHCCAMQIRigAdIBBzgwn2owajeoAgiwAgHxBcEoUw9EqoN38QXBKFMPrKqDd
- Saunders. (1991). *Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review*. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2386335>
- Saunders. (1991). *Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review*. *Conservation Biology*, 5(1), 18–32. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2386335>
- Turner. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer. Obtenido de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2794-4>
- Vogelmann, J. (1995). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology*, 9(2), 439-449.

Whitmore. (1998). *An Introduction to Tropical Rain Forests (2^a ed.)*. Oxford University Press.

Obtenido de https://global.oup.com/academic/product/an-introduction-to-tropical-rain-forests-9780198501473?cc=co&lang=en&utm_source

Wynne, C. &. (2011). *Introduction to Remote Sensing (5^a ed.)*. The Guilford Press. Obtenido de

https://www.guilford.com/excerpts/campbell2_old_ch1.pdf?t=1