



Análisis de fragmentación en la cobertura vegetal del área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, por medio de herramientas SIG

Jenny Lorena Berrio Orozco

Kattlen Martínez Villa

Brayan Medina Arévalo

Ana Carmela Rivero Cardozo

Leandro Sena Alean

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

Tutor: Johnatan Stiven Valencia, Especialista (Esp) en Geotecnia.

Asesores de recursos académicos: Luz Andrea Sepúlveda Escobar (asesora bibliográfica), 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	(Berrio Orozco et al., 2025)
Referencia	Berrio Orozco, J. L., Martínez Villa, K., Medina Arévalo, B., Rivero Cardozo, A. C., & Sena Alean, L. (2025). Análisis de fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) [Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica]. Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual, II

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [mencionar herramientas utilizadas, por ejemplo, ChatGPT, Grammarly, Turnitin, Copilot, Gemini, 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.

Tabla de contenido

Resumen.....	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
2. Planteamiento del problema	11
2.1 Formulación de la pregunta problema	12
2.2 Antecedentes	12
3. Justificación.....	17
4. Objetivos.....	19
4.1 Objetivo general.....	19
4.2 Objetivos específicos	19
5. Hipótesis	20
5.2 Hipótesis de trabajo.....	20
Hipótesis nula	20
6. Marco teórico.....	20
6.1 Fragmentación de la cobertura vegetal y su impacto en la biodiversidad	21
6.2 Conectividad ecológica y corredores biológicos	21
6.3 Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Análisis de Fragmentación 22	
6.4 Métricas de fragmentación y conectividad en la conservación de la biodiversidad	23
7. Referente normativo y legal	26
• Constitución Política de Colombia de 1991:	27
• Ley 99 de 1993:	27
• Ley 165 de 1994 (Convenio sobre la Diversidad Biológica):.....	27
• Decreto 2372 de 2010:	28

8.	Área de estudio	30
9.	Metodología.....	33
a.	Enfoque Metodológico.....	33
b.	Tipo de estudio.....	33
c.	Procedimiento	33
	Fase 1: Caracterización de las coberturas de suelo.....	34
	Fase 2: Análisis de Métricas de Fragmentación	35
	Fase 3: Identificación de Rutas de Conectividad estructural y Propuesta de Corredores	35
10.	Resultados	37
a.	Fase 1 - Caracterización de las coberturas de la tierra.....	37
b.	Fase 2: Resultados de Métricas de Fragmentación	46
c.	Fase 3: Identificación de Rutas de Conectividad estructural y Propuesta de Corredores Biológicos	52
11.	Análisis e interpretación de resultados	55
a.	Análisis mapas de coberturas 2015-2018-2024	55
b.	Análisis de métricas de fragmentación	56
	Bosque denso.....	56
	Arbustales y áreas naturales	57
	Áreas intervenidas	57
	Cuerpos de agua	57
c.	Análisis de los corredores biológicos propuestos	58
d.	Análisis general de los resultados	59
12.	Discusión.....	61
13.	Conclusiones	63
14.	Recomendaciones y limitaciones	65
a.	Recomendaciones	65

b.	Limitaciones.....	66
15.	Referencias.....	68

Lista de tablas

Tabla 2. Métricas para coberturas del 2015 – Fragstats.....	47
Tabla 3. Métricas para coberturas del 2018 – Fragstats.....	47
Tabla 4. Métricas para coberturas del 2024 – Fragstats.....	47
Tabla 5. Comparación índice área de núcleo (CAI).....	48
Tabla 6. Comparación Numero de parches (NP)	49
Tabla 7. Comparación Conectancia (CONNECT).....	50
Tabla 8. Comparación cohesión.....	51

Lista de figuras

Figura 2. Mapa imagen satelital 2015 color verdadero landsat-8.....	38
Figura 3. Mapa imagen satelital 2018 color verdadero landsat-8.....	39
Figura 4. Mapa imagen satelital 2024 color verdadero landsat-9.....	40
Figura 5. Mapa cobertura vegetal 2015.	41
Figura 6. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2015.....	42
Figura 7. Mapa cobertura vegetal 2018.	43
Figura 8. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2018.....	44
Figura 9. Mapa cobertura vegetal 2024	45
Figura 10. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2024.....	46
Figura 11. Relación años coberturas sobre métrica CAI.	48
Figura 12. Relación años coberturas sobre métrica NP.....	49
Figura 13. Relación años coberturas sobre CONNECT.	50
Figura 14. Relación años coberturas sobre métrica NP.....	51
Figura 15. Mapa de corredores biológicos propuestos.	54

Resumen

El Parque Nacional Natural Paramillo (PNN Paramillo) es una zona natural protegida y un área clave en la conservación de diferentes biomas que ofrecen una amplia variedad de servicios ecosistémicos. Esta zona se encuentra amenazada por factores como la tala, la expansión agropecuaria y de cultivos ilícitos, entre otros, que conducen a la deforestación y la consecuente pérdida de conectividad. Este trabajo tuvo como finalidad realizar un análisis de la fragmentación en la cobertura vegetal en el PNN Paramillo, para la identificación de corredores que promuevan la conectividad estructural. A partir de imágenes Landsat 8 - 9 de los años 2015, 2018 y 2024, se llevó a cabo la clasificación de las coberturas y el posterior cálculo de métricas del paisaje, cuyo resultado permitió la identificación de posibles rutas de conectividad estructural, basadas en análisis de menor costo. Los resultados obtenidos identificaron a la cobertura denominada bosque denso, como aquella dominante (superior al 49% del área), pero con un incremento en el número de fragmentos aislados desde los márgenes hacia el centro del parque, mientras que los arbustales presentaron una pérdida de cohesión asociado a las presiones antrópicas, en tanto que las áreas intervenidas mostraron una reducción de su extensión con un aumento en su conectividad interna, ratificando el impacto de la intervención humana. Finalmente, el modelado de conectividad dio lugar a la delimitación de corredores con la conexión de grandes fragmentos de bosque denso en coberturas de baja resistencia, lo cual ofrece soluciones viables para restaurar la conectividad estructural.

Palabras clave: deforestación, análisis multitemporal, coberturas, conectividad estructural, bosque denso, Parque Nacional Natural Paramillo.

Abstract

The Paramillo National Natural Park (PNN Paramillo) is a protected natural area and a key conservation area for different biomes that provide a wide variety of ecosystem services. This area is threatened by factors such as logging, agricultural expansion, and illicit crops, among others, which lead to deforestation and the consequent loss of connectivity. The purpose of this study was to analyze the fragmentation of vegetation cover in the Paramillo National Natural Park (PNN Paramillo), to identify corridors that promote structural connectivity. Using Landsat 8-9 images from 2015, 2018, and 2024, the cover classification and subsequent calculation of landscape metrics were carried out, allowing the identification of potential structural connectivity routes based on least-cost analyses. The results obtained identified the so-called dense forest cover as the dominant one (over 49% of the area), but with an increase in the number of isolated fragments from the edges to the center of the park. The shrublands presented a loss of cohesion associated with anthropogenic pressures, while the intervened areas showed a reduction in their extension with an increase in their internal connectivity, confirming the impact of human intervention. Finally, connectivity modeling led to the delineation of corridors connecting large fragments of dense forest to low-resistance covers, which offers viable solutions to restore structural connectivity.

Keywords: deforestation, multitemporal analysis, coverage, structural connectivity, dense forest, Paramillo National Natural Park.

1. Introducción

La preservación de los ecosistemas de alto valor ecológico, como el Parque Nacional Natural Paramillo (PNN Paramillo), es un imperativo para garantizar la sostenibilidad ambiental y los servicios ecosistémicos que benefician a la región. Sin embargo, este entorno natural se enfrenta a un desafío crítico y progresivo: la fragmentación de la cobertura vegetal. Dicha fragmentación es el resultado directo de la presión antrópica, incluyendo la expansión de actividades agrícolas y ganaderas, así como la minería y la deforestación ilegal.

Esta dinámica de degradación afecta negativamente la conectividad del paisaje, lo que impacta la movilidad de las especies y el intercambio genético, elementos clave para la viabilidad a largo plazo de la biodiversidad. Ante esta problemática, el presente estudio se propone analizar y caracterizar la dinámica de la fragmentación en el área de estudio a través de un enfoque multitemporal.

La metodología empleada se basa en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos para la clasificación de coberturas de suelo en tres periodos de análisis: 2015, 2018 y 2024. A partir de esta información, se calcularon métricas de fragmentación para cuantificar la pérdida de conectividad y se modelarán corredores potenciales. Este análisis proporcionará una comprensión detallada de los patrones espaciales y temporales de la degradación del paisaje.

El objetivo final de esta investigación es generar un marco de conocimiento robusto que apoye la toma de decisiones estratégicas para la gestión del PNN Paramillo. Las conclusiones y propuestas de corredores potenciales ofrecerán una base técnica para el diseño de políticas de conservación y restauración ecológica, contribuyendo de manera significativa a la protección de este valioso patrimonio natural.

2. Planteamiento del problema

Son diversas las causas que contribuyen en mayor medida a la generación de zonas deforestadas, generando la pérdida de coberturas de manera sistemática como por ejemplo la instalación de cultivos de coca, los cuales según las cifras emitidas por Parques nacionales naturales de Colombia e Ideam, a 2022 el PNN Paramillo contaba con 2.930,96 ha de dichos cultivos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024). Así mismo, se cuantificó un área deforestada de 8.400 ha, un incremento de 473 ha deforestadas respecto al año anterior (727 en 2021 y 1.200 en 2022), convirtiéndose en el único núcleo activo de deforestación no identificado en 2021 pero sí en 2022, denominado NAD Paramillo, identificando como principales causas, el establecimiento de prácticas ganaderas no sostenibles, instalación de cultivos ilícitos, tala ilegal y producción agrícola (Mendoza et al., s. f.).

De acuerdo con Nisperuza, (2022), la fragmentación del hábitat de esta zona amenaza la conectividad ecológica, la cual es de suma importancia para el mantenimiento de la biodiversidad, además del desplazamiento y preservación de las especies. En este mismo sentido, estudios como el de Blanco Ávila (2024), destacan que la fragmentación y pérdida de cobertura vegetal es un fenómeno que deteriora y destruye los corredores biológicos, lo que aumenta el riesgo de extinción de especies en estado de vulnerabilidad, fenómeno que se agrava gracias a la insuficiencia de las estrategias de manejo sostenible y a la reducida y limitada implementación de herramientas de monitoreo y gestión, haciendo necesaria la realización de análisis detallados del área del paisaje y de las rutas de conectividad (Molina & Velásquez, 2016).

Este problema se concreta en la necesidad de identificar y comprender las dinámicas de la fragmentación de la cobertura vegetal en el área de influencia del Parque Nacional Natural Paramillo con el fin de determinar rutas de conectividad estructural, lo cual conlleva al estudio de las variables relacionadas con el tipo de cobertura del suelo, las métricas del paisaje y los patrones de cambio en la vegetación en un periodo específico de tiempo (años 2015, 2018 y 2024), lo que es fundamental para el diseño y delimitación de corredores, que puedan servir como insumo para la implementación de áreas de manejo y conservación de la biodiversidad, considerando que la

fragmentación disminuye la resiliencia de los ecosistemas y a su vez, limita los servicios y la vida dentro de los hábitats (Carvajal-Vallejos et al., 2020).

Por tal razón, la siguiente investigación tuvo como objetivo analizar el estado de fragmentación en la zona norte del Parque Nacional Natural Paramillo durante los años 2015, 2018 y 2024 mediante herramientas de SIG. De esta manera, se identificó rutas de conectividad y corredores efectivos, teniendo como punto base la preservación de la biodiversidad en una zona de alta importancia ecológica y así permitir la toma de decisiones ambientales informadas en el ámbito nacional y regional.

2.1 Formulación de la pregunta problema

Teniendo en cuenta todo lo planteado anteriormente, es necesario preguntarse:

¿Cómo ha impactado la fragmentación de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Natural Paramillo las rutas conectividad estructural y cuáles rutas pueden establecerse usando herramientas SIG?

2.2 Antecedentes

La fragmentación y pérdida de cobertura a nivel global representa una amenaza crítica para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Un análisis de cobertura global estima que el 70 % de los bosques restantes están ubicados a menos de 1 km del borde, lo cual intensifica los efectos degradantes, como la reducción de biodiversidad entre 13 % y 75 % y el deterioro de funciones ecosistémicas claves (biomasa, ciclos de nutrientes), especialmente en fragmentos pequeños y aislados (Haddad et al., 2015).

A nivel global, estudios recientes han demostrado la eficacia de estos enfoques para guiar la conservación mediante el análisis de fragmentación. Por ejemplo, en un análisis regional de

conectividad funcional multispecies se identificaron 24 zonas prioritarias fuera de áreas protegidas, utilizando modelos *least-cost* y *multipath* integrados con SIG en diversos tipos de hábitat (semidecidual, sabana y pastizal rupestre) (Gomes et al., 2024). En Austria, mediante SIG y *Fragstats*, también se delimitaron corredores ecológicos en paisajes fragmentados y se validó su eficiencia a través de monitoreo de mamíferos, destacando que estructuras como puentes verdes resultaron más efectivas que los pasos convencionales (Grill et al., 2016).

Adicionalmente, enfoques basados en teoría de grafos han sido implementados para diseñar redes de corredores mínimos para especies focales, tal como se ha hecho con el tigre (*Panthera tigris*) en la India, ayudando a optimizar rutas de dispersión ecológicas (Dutta et al., 2016). Asimismo, estudios en la península ibérica con el lince ibérico (*Lynx pardinus*) han combinado SIG, MaxEnt y modelos de conectividad estructural y funcional para proponer medidas de conservación efectivas (González et al., 2021).

Aunque se ha registrado un aumento en la realización de estudios enfocados en analizar la fragmentación y pérdidas de cobertura a nivel mundial (Fardila et al., 2017), estos se enfocan en países donde existen los recursos tanto humanos como tecnológicos para realizarlos y se realizan en menor medida, en aquellos países pobres o en desarrollo, donde los recursos naturales juegan un papel importante dentro de su economía, lo que da lugar a un conocimiento desigual del estado de los bosques a nivel mundial (Brook et al., 2016).

En América Latina, este tipo de estudios son especialmente insuficientes, sin embargo, es posible destacar trabajos como el realizado por Rebolledo-López, (2022), el cual tuvo como objetivo identificar, cuantificar y analizar el efecto de borde causado por la fragmentación en el Parque Nacional Henri Pittier (PNHP), Venezuela, con un enfoque en la vegetación, la zonificación y las cuencas hidrográficas del parque. Se aplicó un modelo hipotético y la herramienta “buffer” de ArcGIS para evaluar las afectaciones espaciales, concluyendo que el efecto de borde resultante de la fragmentación ha impactado negativamente los servicios ecosistémicos del parque y podría estar amenazando la fauna local. El estudio proporciona un enfoque metodológico para identificar y medir el efecto de frontera en áreas protegidas.

Por otro lado, Leija et al., (2023), en su estudio, permitieron analizar los cambios en la cobertura vegetal y la conectividad estructural del bosque de niebla (BN) en el Occidente de México, específicamente en el Sistema Volcánico Transversal del estado de Michoacán, durante el periodo 1995-2018. Para ello, los autores utilizaron la interpretación de ortofotos e imágenes satelitales Spot, dando como resultado que el bosque de niebla perdió 9.038 hectáreas, con una tasa de deforestación del -1,4% entre 1995 y 2018, y que la conectividad estructural disminuyó significativamente, lo que compromete la supervivencia de las especies en este ecosistema. Esto proporciona una metodología para evaluar el impacto de la fragmentación en la conectividad ecológica, destacando la importancia de identificar y proteger corredores biológicos.

Orosco & Jumbo, (2024), con el objetivo de analizar los cambios en la fragmentación de la cobertura vegetal en el cantón Huaquillas, Ecuador entre 1999 y 2023, a través de un enfoque mixto que combinó la teledetección y análisis geoespacial, aplicaron el NDVI para evaluar el estado de la vegetación y analizaron las métricas de fragmentación, concluyeron que, existen esfuerzos de conservación y reforestación liderados por actores locales, sin embargo, la falta de coordinación limita su efectividad a largo plazo, proporcionando una metodología robusta para evaluar la fragmentación y su impacto en la conectividad ecológica usando herramientas de SIG. De la misma manera, permite destacar la importancia de coordinar esfuerzos de conservación, un aspecto fundamental para el diseño de corredores biológicos que se pretende establecer en el estudio.

A nivel local, se ha observado igualmente un aumento en cuanto al número de estudios asociados a la fragmentación y cambios multitemporales en coberturas, con una notoria participación de institutos de investigación y universidades, también como consecuencia del postconflicto (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2018), no obstante, siguen siendo insuficientes o nulos en zonas de alto interés ecológico como es el caso del PNN Paramillo. Así, se encuentran estudios como los realizados por (Lozano, & Sora, 2020) en el corregimiento de San Basilio de Palenque, Municipio de Mahates, (Cañas Torres, 2020) en bosques de los parques nacionales naturales Yaigojé Apaporis, Río Puré, Cahuinari y Amacayacu, quienes aplicaron métricas de fragmentación para analizar la deforestación, a través del análisis espacial de imágenes de alta resolución y herramientas como V-LATE, mediante un enfoque multitemporal, encontrando en cada caso, que el uso de métricas de fragmentación permite detectar

patrones de deforestación y tanto pérdida de coberturas naturales, como reducción en el ritmo de fragmentación, generando datos útiles para el control territorial y el desarrollo de metodologías de monitoreo ambiental, ofreciendo además una metodología multitemporal con métricas de fragmentación que puede ser replicada para monitorear cambios en la cobertura forestal y su efecto en la conectividad ecológica en áreas protegidas de alta biodiversidad.

Por su parte, (Pérez Torres et al., 2020), analizaron la fragmentación del bosque seco tropical en la Baja Guajira, a través de la evaluación el impacto de actividades humanas como la agropecuaria, la cacería, la extracción de productos forestales no maderables y la tala selectiva, identificados como los principales factores de degradación. Utilizaron un enfoque metodológico adecuado para evaluar la pérdida de cobertura y la fragmentación en ecosistemas vulnerables, concluyendo que, el bosque seco tropical de la Baja Guajira presenta un alto grado de fragmentación, lo cual agrava su vulnerabilidad y amenaza su capacidad para sostener la biodiversidad.

Así mismo, estudios como el de Botero Tobon et al., (2024), quienes analizaron la fragmentación y los cambios en los bosques altoandinos en el municipio de Frontino, Antioquia, entre 2015 y 2020, a causa de actividades humanas mediante el uso del software QGIS y la fotointerpretación de imágenes satelitales y Morales et al., (2024), quienes analizaron y describieron las áreas naturales de la cuenca baja del río Bitá en el Departamento del Vichada, incluyendo morichales, bosques de galería y áreas inundables, que han sido afectadas por la pérdida de cobertura natural debido a actividades humanas entre el 2010 y 2022, evidencian el impacto significativo de la intervención humana en la pérdida de biodiversidad y la fragmentación de ecosistemas, identificando zonas intervenidas por la expansión agropecuaria y la explotación comercial de maderas con pérdidas significativas en la conectividad y en la agregación de las coberturas naturales, con la consecuente disminución en la dominancia y conexión de estas áreas; concluyendo que las actividades antrópicas han tenido un impacto negativo considerable en la estructura y conectividad de los ecosistemas, lo que plantea la necesidad de implementar estrategias de conservación y manejo que frenen el avance de la fragmentación.

Ramos (2022), con el objetivo de analizar el estado de fragmentación de las coberturas vegetales en cuatro comunidades indígenas de la etnia Wayuu (Majayut, Tewou, Sukuluwou y

Mapuachon) en el municipio de Uribia, La Guajira, Colombia, utilizó mapas de cobertura vegetal digitalizados a partir de imágenes satelitales de alta resolución (Worldview-2 y GeoEye-1), el análisis de métricas espaciales mostró que, a pesar de las perturbaciones antrópicas como el pastoreo, las coberturas naturales de arbustales en el área, conservan un bajo índice de fragmentación, concluyendo que la baja fragmentación de estas coberturas naturales podría estar relacionada con el manejo territorial por parte de las comunidades indígenas Wayuu, quienes mantienen prácticas que limitan la intervención del hábitat. Este resultado destaca la importancia de considerar el papel de las comunidades locales en la conservación de la vegetación y la mitigación de la fragmentación.

García Arévalo et al., (2022), con el objetivo de identificar las coberturas vegetales en el municipio de San Jacinto, Bolívar, mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel 2 de los años 2015 y 2022, aplicaron una clasificación supervisada y análisis de fragmentación. Analizaron el cambio en la cobertura boscosa posterior al acuerdo de paz en Colombia, concluyendo que las coberturas naturales y seminaturales están en disminución significativa, con cambios en la vegetación secundaria y arbustales en los índices de área core (CAI) entre los dos años estudiados, siendo los arbustales los de mayor valor en 2022. Este trabajo ofrece una metodología de análisis multitemporal para evaluar los efectos de la intervención humana en la cobertura vegetal.

Lo anteriormente expuesto, plantea la necesidad de intensificar esta clase de estudios a nivel nacional, especialmente en zonas de vulnerabilidad ecológica donde las actividades humanas intensifican la pérdida de conectividad en estos ecosistemas, lo que puede orientar a estrategias de conservación como es el caso, del Parque Nacional Natural Paramillo.

3. Justificación

Como se menciona en el apartado del área de estudio, esta cuenta con una superficie de 71.938 ha y se encuentra localizada al suroccidente del municipio de Tierralta, departamento de Córdoba, en límites con el departamento de Antioquia, dicha zona se encuentra delimitada por elementos naturales o arcifinios, como son, la Quebrada Naín al norte, Ríos Sinú y Río Verde al este, Serranía de Abibe al oeste, y drenajes sencillos al sur. Estas características, topográficas, y naturales, contribuyen a que sea un área estratégica para la conservación, pues en ella se establecen diversos ecosistemas de bosque húmedo tropical, cuencas, subcuencas y múltiples microcuencas, además de una alta diversidad biológica, lo que ha llevado a que se constituya en área protegida.

La fragmentación de hábitats es una de las principales amenazas para la conectividad ecológica en los bosques, y para el mantenimiento de corredores biológicos que sostienen la preservación de las especies; dicha fragmentación en la zona de estudio, es generada principalmente por actividades antrópicas llevadas a cabo por colonos campesinos que ocupan terrenos del PNN y su área de influencia y también, por parte de comunidades indígenas que realizan actividades de deforestación para explotación maderera, agricultura y ganadería, por lo anterior, este estudio contribuirá a la comprensión de las dinámicas de fragmentación del bosque denso en la zona, y sus impactos sobre la conectividad, lo cual servirá como aporte a la planificación de acciones o políticas de conservación en el área natural que sostiene presiones significativas por actividades antes mencionadas (Cordova, Tapia Zúñiga, et al., 2024).

La necesidad de desarrollar investigaciones de este tipo en esta zona específica es evidente, debido a que no existe información bibliográfica actualizada que brinde una visión multitemporal de la fragmentación del bosque en la zona. Esta carencia puede ser un indicador de vacíos de conocimiento tanto para residentes en la zona como para comunidades de su área de influencia, por ende, tener este tipo de información mapeada y zonificada, facilita la socialización a comunidades y entidades interesadas en la conservación ambiental, para que se fortalezca el conocimiento de la problemática de manera puntual.

De la misma manera, la relevancia de esta investigación parte de la profundización en el uso de las herramientas SIG aplicadas a análisis de fragmentación y conectividad, generando conocimientos específicos a la gestión de áreas protegidas. A nivel institucional, este estudio tiene un alto potencial para el beneficio de las autoridades ambientales, brindando datos con utilidad para la gestión y conservación del Parque Nacional Natural Paramillo y su área de influencia, de tal manera, que los resultados generen insumos técnicos esenciales, útiles en el fortalecimiento de las prácticas de gestión ambiental, en zonas donde la fragmentación de hábitats representa un desafío creciente. Asimismo, con los resultados de este estudio, se estableció una identificación localizada de rutas óptimas de corredores biológicos dentro y alrededor del de la zona de estudio, lo cual podrá dar lugar al diseño de estrategias efectivas de conservación de la biodiversidad, que son útiles, a la hora de implementar gestiones, políticas u actividades para mantengan la conectividad ecológica en un entorno donde los hábitats naturales se encuentran en constante fragmentación.

La novedad de este estudio parte de su enfoque metodológico que aplica el uso de herramientas SIG para el análisis de la fragmentación y el mapeo las rutas de conectividad ecológica, pues se genera un nuevo conocimiento específico, permitiendo desarrollar un modelo metodológico aplicable en contextos geográficos similares, contribuyendo a la producción de conocimiento técnico e innovación en el área de gestión y conservación de ecosistemas, abordando una problemática aun poco explorada en el país y en la región. Por tales motivos, un análisis de la fragmentación de la cobertura vegetal en el área del norte Parque Nacional Natural Paramillo mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), resulta fundamental debido a la importancia de esta zona para la biodiversidad, la conservación y la estabilidad ecológica.

Para este caso específico, el estudio realizado beneficia a comunidades locales que habitan la zona, tanto campesinos como indígenas, también puede ser útil para, ONG, investigadores, estudiantes tomadores de decisiones como SINAP, o autoridades ambientales como corporaciones autónomas regionales, para diseñar políticas que involucren a la comunidad.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo en los años 2015, 2018 y 2024 por medio el uso de herramientas SIG, para la identificación de posibles rutas de conectividad estructural.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las coberturas de suelo en la zona norte del Parque Nacional Natural Paramillo, identificando sus cambios en los períodos 2015, 2018 y 2024, para la comprensión de la dinámica de la fragmentación.
- Analizar las métricas de fragmentación del paisaje asociadas a las coberturas identificadas.
- Definir rutas de conectividad estructural óptimas en el área de estudio.

5. Hipótesis

5.2 Hipótesis de trabajo

Las herramientas SIG permiten evidenciar el impacto negativo causado por el efecto de borde generado por la fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, que afectan negativamente el establecimiento de especies; además, ayudan a facilitar la identificación de zonas clave para la conectividad estructural, la cual es fundamental para el movimiento, la supervivencia y la reproducción de las especies en el área.

Hipótesis nula

Las herramientas SIG no permiten evidenciar el impacto negativo causado por el efecto de borde generado por la fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, ni afectan el establecimiento de especies; además, no facilitan la identificación de zonas clave para la conectividad estructural, la cual no es fundamental para el movimiento, la supervivencia y la reproducción de las especies en el área

6. Marco teórico

El presente capítulo establece el marco teórico que fundamenta la investigación sobre el análisis de la fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo. Se abordarán los conceptos esenciales de la ecología del paisaje, las causas y consecuencias de la fragmentación de hábitats y la pérdida de conectividad ecológica. Adicionalmente, se justificará el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las métricas de paisaje como herramientas fundamentales para cuantificar y evaluar estos fenómenos a lo largo del tiempo, proporcionando una base sólida para la comprensión y gestión de los ecosistemas estudiados.

6.1 Fragmentación de la cobertura vegetal y su impacto en la biodiversidad

De acuerdo con(Solórzano, 2025), la fragmentación de los hábitats puede definirse como aquel proceso mediante el cual áreas de gran extensión de vegetación se dividen en fragmentos más minúsculos y aislados, a raíz del resultado de factores antrópicos tales como la agricultura, la ganadería, la minería y la expansión urbana, entre otros, contribuyendo a la disminución del tamaño de bosque o áreas naturales de bosques continuos a áreas abiertas con parches desconectados, lo que trae como consecuencia la reducción de hábitats, el progresivo aislamiento de los fragmentos y el aumento en el número de fragmentos. De la misma manera, Morales & Puyo (2024), plantean que, este fenómeno ha sido calificado como una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad, puesto que genera barreras para que se muevan las especies (Chassot et al., 2010), limitan la capacidad de dispersión y la disminución de las poblaciones de organismos con consecuencias ecológicas a diversas escalas, derivando en la pérdida de la funcionalidad de los ecosistemas y aumentando su vulnerabilidad. En el contexto nacional, áreas de alta biodiversidad como el Parque Nacional Natural Paramillo están bajo amenaza constante debido a estas actividades, lo que hace necesario estudiar sus efectos y proponer soluciones que mitiguen los impactos de la fragmentación.

En Colombia, de acuerdo con(Romero, 2020), la fragmentación ha tenido efectos negativos en los corredores biológicos y ha tenido efectos en la conectividad de áreas naturales protegidas, por lo que, la pérdida de la cobertura vegetal afecta gravemente la capacidad de estas áreas para sostener la biodiversidad local; así, en el caso específico del Parque Nacional Natural Paramillo, la fragmentación plantea un riesgo para las especies que dependen de corredores biológicos, lo que sustenta la necesidad de este estudio.

6.2 Conectividad ecológica y corredores biológicos

Como consecuencia de la fragmentación previamente descrita, la conectividad ecológica se ve comprometida. Para (Moyano et al., 2021), la conectividad ecológica representa un pilar fundamental para el mantenimiento de la preservación de las especies, ya que permite el movimiento entre fragmentos de hábitat y facilita el flujo genético. En este mismo sentido, los

corredores biológicos, para (Morera-Beita et al., 2021), están definidos como rutas que conectan fragmentos aislados de vegetación y han sido identificados como soluciones eficaces para mitigar los efectos de la fragmentación. Paralelamente (Morera-Beita et al., 2021), demostraron que los corredores aumentan la resiliencia de los ecosistemas, al permitir que las especies accedan a diferentes áreas, encontrando refugio, alimentación y sitios de reproducción.

Estudios internacionales como el de (Sancho Rodríguez, 2021), en áreas de alta fragmentación han subrayado la importancia de los corredores biológicos en la conservación de la biodiversidad, especialmente en ecosistemas donde la intervención humana ha reducido la conectividad natural, de tal manera que, el análisis de la conectividad ecológica en el Parque Nacional Natural Paramillo mediante la identificación de corredores biológicos contribuirá a la protección de especies vulnerables y la preservación de los procesos ecológicos en el parque.

6.3 Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Análisis de Fragmentación

La complejidad espacial de los fenómenos de fragmentación y pérdida de conectividad hace que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) sean herramientas indispensables para su análisis. Los SIG, en combinación con técnicas de teledetección, permiten la cuantificación y el monitoreo de estos cambios en el paisaje.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas indispensables para el análisis de fragmentación y la planificación de la conservación, ya que permiten el estudio detallado de la estructura y configuración del paisaje mediante datos espaciales (Morote Seguido & Olcina Cantos, 2021). El uso de imágenes satelitales y técnicas de análisis multitemporal facilita el monitoreo de cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, proporcionando una visión clara sobre la dinámica de la fragmentación y el impacto de actividades humanas en áreas protegidas (Lozano, & Sora, 2020).

Para evaluar la fragmentación en el Parque Nacional Natural Paramillo, este estudio aplicará un análisis multitemporal para los períodos 2015, 2018 y 2024, empleando imágenes

satelitales para observar cambios en la cobertura vegetal. Este enfoque tendrá en cuenta una caracterización de las coberturas del suelo y su evolución, identificando las áreas en donde se requiere la implementación de corredores ecológicos, por lo tanto, la metodología propuesta sigue enfoques de estudios previos que utilizan herramientas de análisis espacial, demostrando su eficacia en la planificación y monitoreo de ecosistemas (Botero Tobon et al., 2024).

6.4 Métricas de fragmentación y conectividad en la conservación de la biodiversidad

Para cuantificar el nivel de fragmentación y su impacto en la conectividad ecológica, se emplean métricas de paisaje.(Lozano, & Sora, 2020), en su estudio mencionan métricas de fragmentación tales como el índice de área de núcleo (CAI), el número de fragmentos, la conectancia¹ y la cohesión del paisaje, a partir de lo cual se puede cuantificar el nivel de fragmentación y su impacto en la conectividad ecológica, siendo fundamentales para la evaluación de la fragmentación y cómo esta afecta la estructura del paisaje y la identificación de áreas prioritarias (Tabla 1). Estas métricas son esenciales para evaluar la estructura y configuración del paisaje a partir de datos obtenidos mediante SIG. A continuación, se detallan las métricas que serán utilizadas en el presente estudio para caracterizar la fragmentación y la conectividad en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo (Tabla 1).

Tabla 1. Métricas de fragmentación y conectividad en la conservación de la biodiversidad

¹ En el contexto del paisaje, el término **Conectancia (CONNECT)** aparece dentro de métricas de fragmentación, en estos estudios buscan diferenciar entre cantidad de hábitat y estructuración espacial. Estas métricas demuestran que, aunque esté disminuyendo la cobertura, no necesariamente cambia la agregación de los fragmentos, permiten distinguir si los cambios en el paisaje se deben a pérdida de hábitat o a una mayor fragmentación espacial. Wang, X., Blanchet, F. G., & Koper, N. (2014).

Métrica de fragmentación	de Descripción	Aplicación en la Conservación de la Biodiversidad
Índice de Área de Núcleo (CAI)	Mide el área interior o núcleo de un fragmento de hábitat, excluyendo las áreas afectadas por el efecto de frontera. Un CAI alto indica un área de núcleo extensa y menos fragmentada.	Ayuda a identificar fragmentos grandes con menos influencia de borde, cruciales para la conservación de especies sensibles al borde ya la perturbación.
Número de Fragmentos	Cuantifica el total de fragmentos de hábitat en un paisaje determinado. Un mayor número de fragmentos indica una mayor fragmentación.	Permite evaluar la fragmentación en términos de subdivisión del hábitat, destacando la necesidad de conectar fragmentos aislados para mejorar la conectividad.
Conectividad	Mide la proximidad relativa entre fragmentos de hábitat. Un alto valor de conectancia sugiere que los fragmentos están cercanos y potencialmente conectados.	Útil para identificar áreas donde es factible conectar fragmentos cercanos, facilitando el movimiento y dispersión de especies entre fragmentos de hábitat.
Cohesión del paisaje	Mide el grado de interconexión de los fragmentos en el paisaje. La cohesión refleja cuán fragmentado o conectado está el paisaje en su conjunto.	Evaluar la cohesión permite identificar paisajes con mayor conectividad, fundamentales para el diseño de corredores biológicos y la planificación de conservación.
Tamaño medio de fragmentos	Calcule el tamaño promedio de los fragmentos en un paisaje. Un tamaño medio menor indica mayor fragmentación y fragmentos más pequeños.	Ayuda a identificar si la fragmentación ha reducido el tamaño de los fragmentos, afectando la viabilidad de las poblaciones y la calidad del hábitat.
Índice de aislamiento	Mide la distancia promedio entre los fragmentos. Un índice alto indica que los fragmentos están más aislados entre sí.	Es útil para identificar fragmentos extremadamente aislados, que pueden requerir corredores biológicos para reducir el aislamiento y promover la conectividad.
Índice de Forma	Evalúa la complejidad de la forma de los fragmentos; Las formas más irregulares pueden aumentar el efecto de borde.	Permite identificar fragmentos con formas menos compactas, más vulnerables al efecto de borde, influyendo en la calidad del hábitat para la biodiversidad.

Fuente: (Lozano, & Sora, 2020).

Estas métricas de paisaje, cuantificadas a partir de la información de cobertura vegetal obtenida mediante técnicas de teledetección y procesada con Sistemas de Información Geográfica, permiten evaluar de forma precisa la extensión y dinámica de la fragmentación (ej. Índice de Área de Núcleo, Número de Fragmentos) y su impacto en la conectividad (ej. Conectividad, Cohesión

del paisaje), proporcionando una base sólida para entender las implicaciones ecológicas en el PNN Paramillo.

7. Referente normativo y legal

El referente normativo y legal establece el marco jurídico que respalda el análisis de la fragmentación de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Natural Paramillo, delimitando las leyes, decretos y regulaciones que protegen y regulan el uso de los recursos naturales en áreas protegidas en Colombia.

- **Decreto 2811 de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales y de protección al medio ambiente):**

En este se establecen las categorías de áreas protegidas, cuyo objetivo es la protección de los ecosistemas. Dentro de este, el capítulo III (Parques Nacionales Naturales) define sus límites y régimen especial de manejo. El Capítulo VI (conservación de suelos, aguas y vegetación), regula las actividades permitidas y el capítulo IX (protección de fauna y flora silvestre), establece la importancia de conservación de la biodiversidad (Congreso de República de Colombia, 1974). Lo que genera obligatoriedad frente a la vigilancia y control de las áreas protegidas y robustece la importancia de mantener ecosistemas íntegros que mantengan la conectividad.

- **Decreto 622 de 1977:**

Reglamenta de forma técnica el Sistema de Parques Nacionales Naturales, puntualmente en el establecimiento de funciones específicas para los entes de control, que incluye la zonificación y planes de manejo, además de definir categorías especiales dentro de las zonas protegidas, necesario para la gestión y control de estas, incluyendo la conservación de sitios de alto valor paisajístico, científico y ecológico.

- **Ley 388 de 1997 (Ley de Desarrollo Territorial):**

Establece los principios y las herramientas necesarias en la planificación del uso del suelo, por medio de la clasificación de zonas como suelos de protección, en conjunto con su uso racional y sostenible, especialmente dentro de planes de ordenamiento territorial que restringen actividades

como la tala y quema de extensiones se bosque, la expansión agropecuaria o el establecimiento de cultivos ilícitos (Congreso de República de Colombia, 1997), factores asociados a la pérdida de conectividad en el área.

- **Constitución Política de Colombia de 1991:**

La Constitución establece en el Artículo 79 “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo (Secretaría del senado, 1991, p.2); y en el Artículo 80 se otorga al Estado la responsabilidad de “planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución” (Secretaría del senado, 1991, p.2). Por lo tanto, estas disposiciones constitucionales son la base de la política ambiental y de conservación en el país.

- **Ley 99 de 1993:**

Esta ley crea el Ministerio del Medio Ambiente y define los principios y políticas para la protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales, estableciendo la responsabilidad del Estado y los particulares en la conservación del medio ambiente y otorga al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) la misión de conservar la biodiversidad en áreas protegidas, incluyendo los parques nacionales (Congreso de República de Colombia, 1993), lo que sustenta legalmente los estudios encaminados a evaluar la fragmentación del PNN Paramillo a través de herramientas de análisis como evaluación de la fragmentación.

- **Ley 165 de 1994 (Convenio sobre la Diversidad Biológica):**

Mediante esta ley, Colombia adopta el Convenio sobre la Diversidad Biológica, comprometiéndose a proteger su biodiversidad e implementar estrategias de conservación en áreas como los parques nacionales, de tal manera que, este convenio internacional establece la necesidad de proteger la conectividad ecológica y minimizar los efectos de la fragmentación (Congreso de

República de Colombia, 1994), ratificando la necesidad de propuesta de corredores ecológicos con el fin de cumplir con los requisitos internacionales convenidos.

- **Ley 1333 de 2009:**

Establece el procedimiento sancionatorio ambiental, por lo que otorga a las autoridades ambientales la autoridad para sancionar, controlar o prevenir aquellas actividades que afecten la integridad de áreas naturales, lo cual es clave para enfrentar las acciones que históricamente, han sido causa de fragmentación o deforestación en la zona de estudio y que implican consecuencias legales.

- **Decreto 2372 de 2010:**

Este decreto reglamenta la Ley 99 de 1993 en lo que respecta a la gestión y administración de las áreas del SINAP, incluyendo los parques nacionales naturales, por lo que, en él se establece directrices específicas para la conservación de la biodiversidad y la restauración de áreas afectadas por actividades humanas, reconociendo que los ecosistemas solo pueden conservarse de manera unificada lo que fomenta la propuesta de corredores y zonas amortiguadoras, motivando a la realización de estudios que permitan caracterizar zonas protegidas y su implementación en planes de manejo, lo cual es directamente aplicable en el análisis de fragmentación en el Parque Nacional Natural Paramillo (Congreso de República de Colombia, 2010).

- **Decreto-Ley 3572 de 2011:**

Mediante la cual se crea la Unidad Administrativa Especial Parques Nacionales Naturales de Colombia (UAESPNN), dotada de autonomía administrativa, operativa y financiera que gestiona el sistema de PNN, por lo que es el ente administrador del PNN Paramillo (Congreso de República de Colombia, 2011), otorgándole respaldo legal a la hora de implementar acciones sobre este.

- **Ley 1930 de 2018 (Ley de Páramos):**

Considerando que el PNN Paramillo incluye dentro de sus biomas el páramo, esta ley aporta directrices para la gestión integral de este tipo de ecosistemas estratégicos que sostienen cuencas hidrográficas, al ser importantes proveedores de servicios ecosistémicos, además de prohibir, restringir y sancionar actividades como la expansión agropecuaria o modificación de la cobertura vegetal (Congreso de República de Colombia, 2018)

Finalmente, para dar cumplimiento de los decretos y leyes establecidas dentro de la legislación colombiana, existen diversos documentos técnicos encaminados al desarrollo de metodologías clave en estudios ambientales, dentro de los que se encuentra los siguientes:

- Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Manual de interpretación visual de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 y 1:25.000. Esta guía estandariza la metodología para la cartografía y clasificación de la cobertura de la tierra en Colombia (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018).
- Plan de manejo del Parque Nacional Natural Paramillo. Este documento técnico cuenta con información diagnóstica del área, zonificación y lineamientos para la su conservación, regulación y control, en conjunto con las comunidades locales y sistemas de monitoreo y seguimiento. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018).
- Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, versión 2.0, documento que establece la metodología para el procesamiento de las imágenes y la cuantificación de la deforestación de Colombia (Galindo et al., 2014).

8. Área de estudio

Teniendo en cuenta la información espacial representada de la figura 1, se tiene que, el área específica objeto del presente estudio, tiene una superficie de 71.938 ha, y se encuentra localizada al suroccidente del municipio de Tierralta, departamento de Córdoba, noroccidente de Colombia, en límites con el departamento de Antioquia, dicha zona se encuentra delimitada por elementos naturales o arcifinios, como son, la Quebrada Naín al norte, Ríos Sinú y Río Verde al este, Serranía de Abibe al oeste, y drenajes sencillos al sur.

Es un sector de importancia natural, basada en su riqueza ecológica, paisajística y cultural, debido a que en ella influyen diferentes entidades espaciales que hacen parte del sistema nacional de Áreas protegidas, como: el PNN Paramillo y el Distrito de Manejo Integrado Serranía de Abibe, además, el área también tiene influencia en parte del Embalse de Urrá y el resguardo indígena Emberá Katío del Alto Sinú.

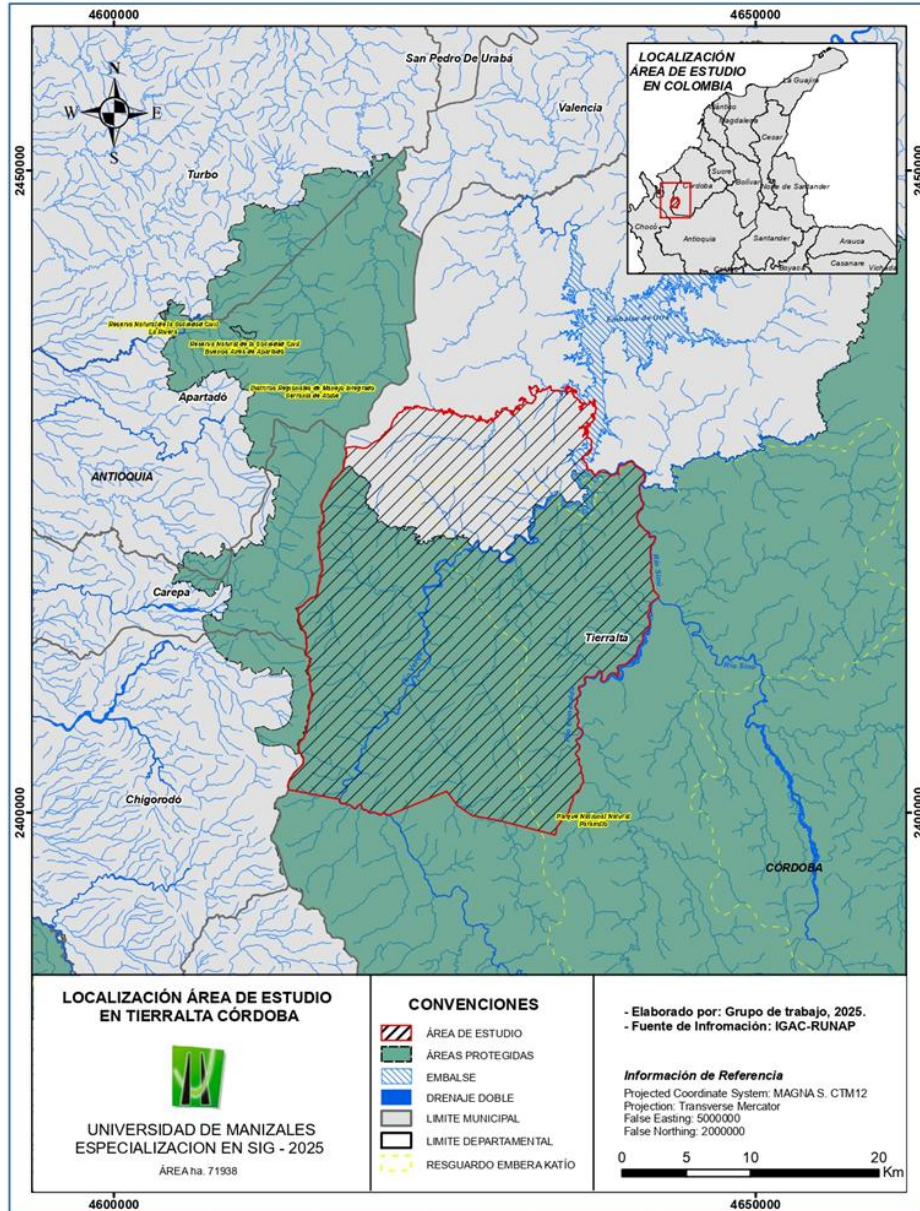
En concordancia con lo anterior y teniendo en cuenta un contexto más general, el área de estudio hace parte del Parque Nacional Natural Paramillo y su área de influencia. Declarado parque nacional natural por el acuerdo No. 024 del 2 de mayo de 1977 por INDERENA y ratificado por INCORA mediante la resolución ejecutiva No. 163 del 6 de Julio del mismo año. Se ubica en el extremo norte de la cordillera occidental de los Andes colombianos, en jurisdicción de los departamentos de Córdoba (74,14%) y Antioquia (25,86%). Cuenta con una extensión de 504.014 hectáreas, con cierto porcentaje de área en los municipios de Tierralta, Puerto Libertador, Montelíbano, San José de Uré, Ituango, Dabeiba y Peque. Presenta un rango altitudinal que fluctúa entre los 125 y 3.960 M.S.N.M relacionado con la variedad de relieves que caracterizan la zona, dentro de los que se encuentran planos inundables, planicies aluviales, lomas, colinas, serranías y páramos, entre otros, destacando el páramo de paramillo (3,960 m) y el Alto Tres Morros (3.400 m) como aquellos de mayor altitud, además de las serranías de Ayapel, Abibe y San Gerónimo, sistemas donde nacen los ríos Sinú, Manso, Tigre, Esmeralda, Verde y los ríos San Jorge, Sucio, San Pedro y Uré, que conforman la región hidrográfica del alto Sinú y del alto San Jorge respectivamente, situándolo como la más importante estrella fluvial del noroccidente de Colombia (Pérez Torres et al., 2020), considerando además que parte de las cuencas altas de los ríos Ituango,

Tarazá, Peque y Urama, también se encuentran dentro del parque (Parques Nacionales Naturales de Colombia, s.f.). Esta zona cuenta con biomas naturales como lo son el páramo, bosque andino, bosque subandino y la selva húmeda (éste último como bioma de mayor extensión) (Benítez Flórez, 2023), que albergan una amplia variedad de especies de fauna y flora silvestre y especies endémicas o incluidas dentro de categorías de conservación.

Así mismo, esta zona cuenta con un régimen de lluvias intensas, que se traduce en una precipitación media anual entre 1.500 a 5.000 mm principalmente en zonas bajas (entre 2.000 y 4.000 mm), con microclimas específicos dentro del parque teniendo en cuenta los distintos biomas que allí se encuentran, además, de dos épocas lluviosas y dos épocas secas, lo que da lugar a un régimen climático bimodal (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2005). Estos factores en conjunto confieren una serie de servicios ecosistémicos que propician el asentamiento de comunidades humanas como los pueblos Embera-Katío y Chamí quienes basan su subsistencia en actividades como la agricultura, caza, pesca y recolección (Fundación Neotrópicos & Empresa Multipropósito Urrá S.A., 1997), además de las comunidades humanas localizadas en 21 sectores del parque y de municipios aledaños como Tierralta e Ituango (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2005).

Sin embargo, esta importante zona se ha visto afectada debido a prácticas humanas como la expansión agrícola, la tala indiscriminada de árboles, la minería y la ganadería, generando una creciente fragmentación en su cobertura vegetal nativa, lo cual ha provocado el consecuente deterioro de su área natural, incluyendo daños en los procesos ecológicos y de conectividad entre especies (Ministerio de Ambiente, 2021).

Figura 1. Localización del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

9. Metodología

a. Enfoque Metodológico

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, dado que su objetivo principal fue analizar en términos numéricos los cambios en la cobertura vegetal y la fragmentación del paisaje en el Parque Nacional Natural Paramillo. Este enfoque se caracteriza por recoger datos exactos y precisos que pueden ser procesados estadísticamente para obtener resultados replicables y verificables (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2014) específicamente, el estudio cuantificó variables como el número de fragmentos, el área de cobertura vegetal, entre otras métricas para períodos definidos.

El análisis involucró el uso de imágenes satelitales y de software que permitieron observar y medir los patrones de cambio en la cobertura vegetal del parque en diferentes momentos en el tiempo (2015, 2018 y 2024), dando como resultado la caracterización y descripción cuantitativa de la estructura del paisaje y de conectividad estructural, proporcionando datos objetivos sobre la magnitud de la fragmentación.

b. Tipo de estudio

El tipo de estudio de este trabajo es de carácter descriptivo, ya que se enfoca en caracterizar y describir el estado actual de la cobertura vegetal y la fragmentación del paisaje en el área de estudio, sin intervenir de ninguna manera. En este sentido, este estudio destalla las condiciones de las coberturas vegetales en distintos períodos (2015, 2018 y 2024), las métricas de fragmentación y posibles corredores, sin buscar establecer relaciones causales, por lo que este enfoque descriptivo facilita la identificación de áreas clave para la conectividad estructural y la conservación de la biodiversidad.

c. Procedimiento

Para alcanzar los objetivos específicos, la metodología se organiza en las siguientes tres fases:

Fase 1: Caracterización de las coberturas de suelo

Recolección de imágenes satelitales: se obtuvo un set de imágenes de satélite correspondientes a imágenes Landsat 8-9 con una resolución espacial de 30 m con corrección geométrica y atmosférica aplicada, obtenidas de la página web del Servicio Geológico Norteamericano (USGS), específicamente del visor EarthExplorer y que abarcaron el periodo: 2015 – 2018 y 2024, debido a que corresponden a imágenes de libre acceso, a la disponibilidad de las mismas y a factores como cobertura de nubes (factores que limitan el uso de imágenes de otros sensores o de periodos de tiempo más extensos o uniformes).

Imagen	Año	Satélite
LC08_L2SP_010055_20150102_20200910_02_T1	2015	Landsat 8
LC08_L2SP_010055_20180110_20200902_02_T1	2018	Landsat 8
LC09_L2SP_010055_20240830_20240831_02_T1	2024	Landsat 9

Clasificación supervisada y análisis multitemporal: previo a la clasificación, se implementaron combinaciones de bandas para visualizar las coberturas en color verdadero (RGB). De las imágenes seleccionadas, la más reciente (correspondiente al año 2024) fue tomada como la referencia básica y con respecto a esta, se cotejaron las coberturas seleccionadas con base en la previa revisión de información bibliográfica del área de estudio en términos de sus características bióticas y sus unidades geomorfológicas, que además, respondieron tanto a criterios ecológicos como a patrones espectrales identificables, lo cual permitió establecer los criterios de distinción para las coberturas cartografiadas o macroclases: i) bosque denso, ii) arbustales y áreas naturales, iii) áreas intervenidas y iv) cuerpos de agua, obteniendo finalmente el análisis de cambios para los años seleccionados e identificando áreas de pérdida o ganancia de vegetación y la posterior cuantificación del grado de fragmentación. Las salidas gráficas fueron generadas implementando el software QGIS versión 3.42.1.

Fase 2: Análisis de Métricas de Fragmentación

Selección de métricas de fragmentación: se seleccionaron métricas de fragmentación adecuadas para el estudio, con el fin de evaluar cuantitativamente la estructura y dinámica del paisaje, en este caso aquellas que han demostrado efectividad en el análisis de conectividad, tales como el Número de Fragmentos (NP), el Índice de Área de Núcleo (CAI), la Conectividad (CONNECT) y la Cohesión del Paisaje (COHESION), debido a su capacidad para describir aspectos clave en lo que respecta a la fragmentación de hábitat, permitiendo integrar dimensiones relacionadas con el tamaño, forma, dispersión y conectividad de las coberturas vegetales.

Aplicación de métricas: las métricas de fragmentación fueron analizadas a través del software FRAGSTATS para los años seleccionados. Se calcularon las métricas elegidas para cada clase de cobertura, por lo que, estas permitieron evaluar la estructura del paisaje, el grado de fragmentación y el nivel de conectividad estructural en cada año analizado.

Comparación temporal de las métricas: posteriormente se realizó la comparación temporal de las métricas de fragmentación, con el fin de observar tendencias y su impacto en la conectividad del paisaje.

Fase 3: Identificación de Rutas de Conectividad estructural y Propuesta de Corredores

Análisis de conectividad: con base en las métricas de fragmentación y los resultados del análisis de cambios multitemporales, se estableció como prioridad de conectividad la macroclase bosque denso, debido a su alta biodiversidad, su rol como hábitat principal de múltiples especies sensibles y su función como núcleo ecológico, evaluando las áreas donde la conectividad es baja y donde se necesitan rutas de esta.

Identificación de corredores potenciales: se identificaron las posibles rutas de conectividad utilizando herramientas de análisis de costo acumulado y rutas de menor resistencia (least-cost paths), considerando como matriz de resistencia los valores de conectividad estructural y el tipo de cobertura circundante mediante el software QGIS, integrando capas raster derivadas del modelo de fragmentación y restricciones ecológicas basadas en topografía, barreras naturales

(ríos principales) y clases de cobertura con alta resistencia al movimiento faunístico (por ejemplo, áreas intervenidas).

Propuesta de corredores: con base en la ubicación y características de los fragmentos de hábitat, se identificaron zonas clave de conectividad, teniendo en cuenta criterios como la distancia funcional entre fragmentos, la calidad del hábitat intermedio, la orientación del paisaje y la continuidad estructural de las coberturas naturales.

Validación y ajustes de los corredores: finalmente, se revisarán los corredores propuestos en función de criterios ecológicos y logísticos, asegurando que las rutas sean viables para la conservación de la biodiversidad y la conectividad estructural en el PNN Paramillo.

10. Resultados

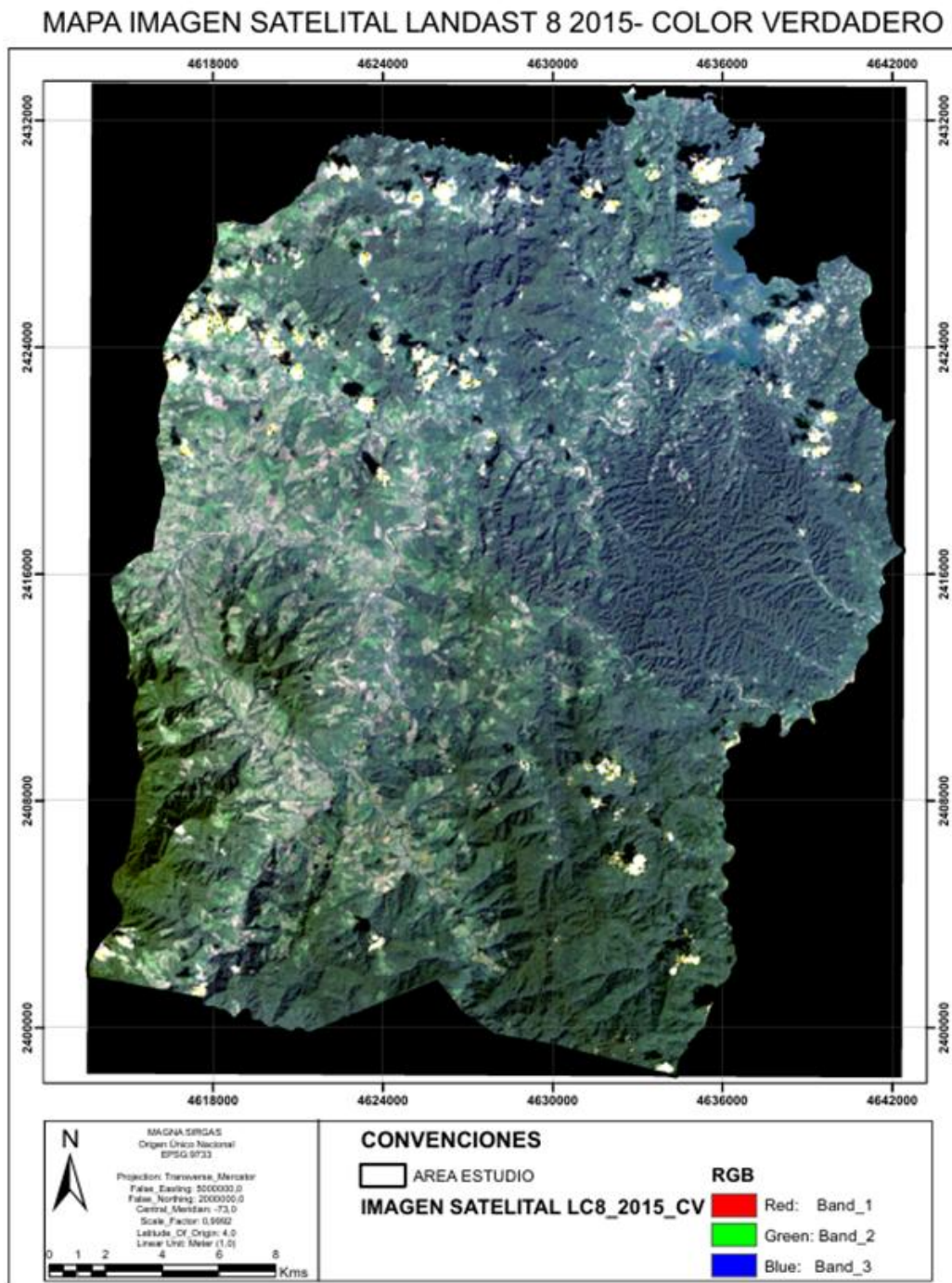
a. Fase 1 - Caracterización de las coberturas de la tierra

Con el propósito de caracterizar la dinámica espacial de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, se procedió inicialmente con la obtención de imágenes satelitales de las misiones Landsat 8 (años 2015 y 2018) y Landsat 9 (año 2024). Estas imágenes fueron seleccionadas por su resolución espacial media (30 m) y disponibilidad temporal consistente, lo que permite realizar comparaciones multitemporales confiables en ecosistemas de gran escala.

Posterior a la descarga, las imágenes fueron sometidas a procesos de corrección atmosférica y georreferenciación, garantizando su alineación espacial y la reducción de distorsiones que podrían afectar el análisis temporal. A partir de ello, se implementaron combinaciones de bandas para visualizar las coberturas en color verdadero (RGB), lo que permitió una mejor identificación visual preliminar de los distintos elementos del paisaje (Figuras 2 - 4).

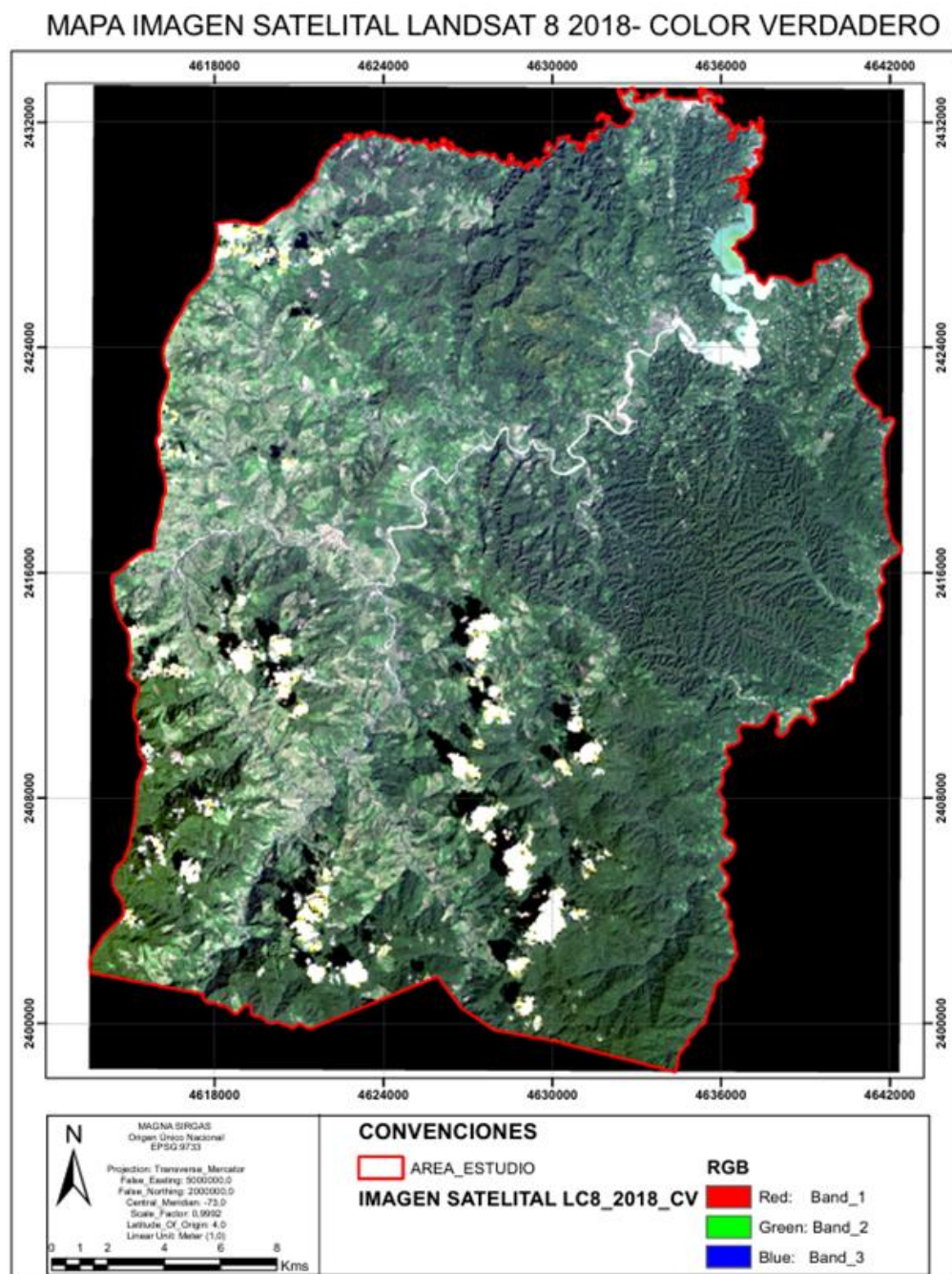
Para la clasificación supervisada, se definieron cuatro macroclases representativas del ecosistema local: bosque denso, arbustales y áreas naturales, áreas intervenidas y cuerpos de agua. Esta categorización respondió tanto a criterios ecológicos como a patrones espectrales identificables en las imágenes satelitales. La metodología aplicada se desarrolló en QGIS versión 3.42.1, empleando algoritmos de clasificación como el Maximum Likelihood y datos de entrenamiento validados con apoyo visual y conocimiento del área.

Figura 1. Mapa imagen satelital 2015 color verdadero landsat-8



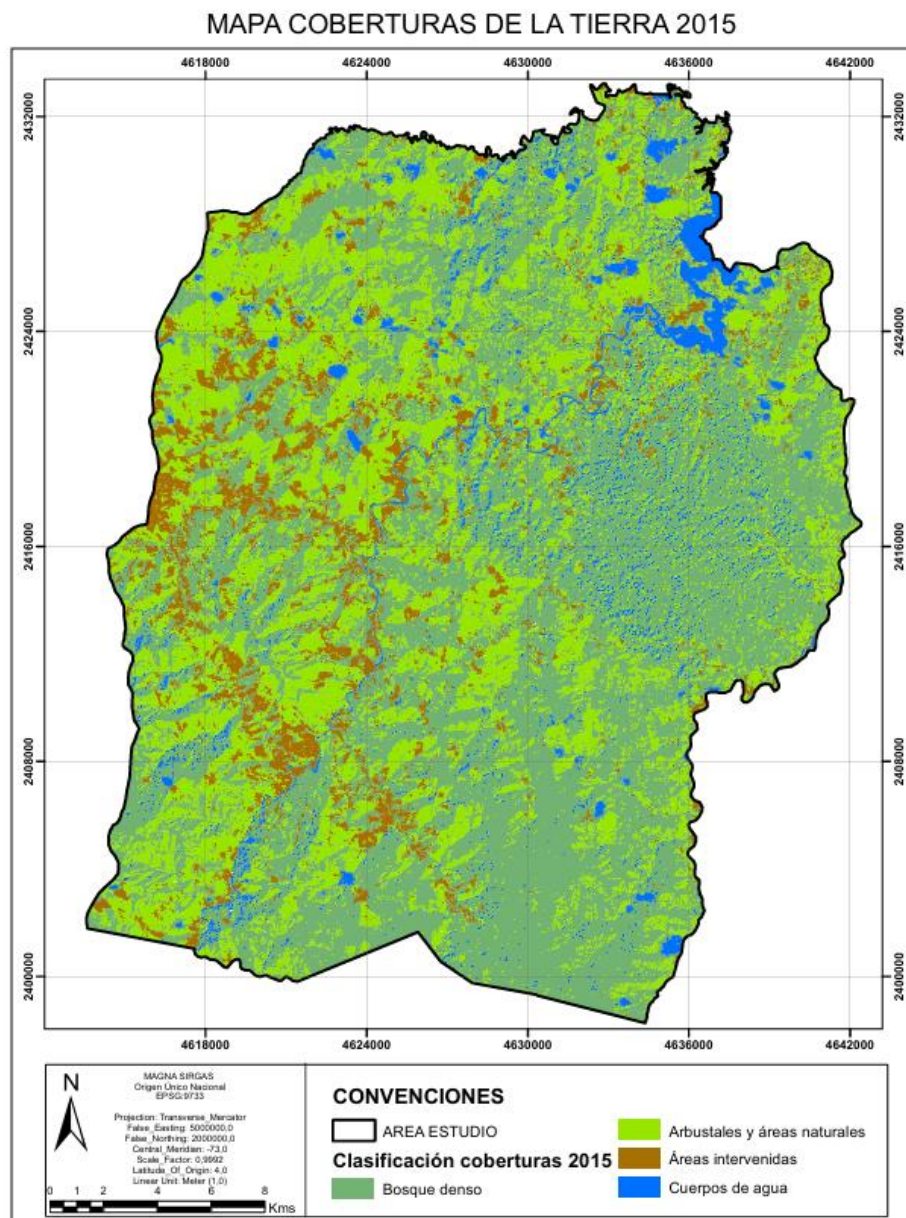
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen satelital Landsat 8 (USGS EarthExplorer), escena LC08_L1TP_008057_20150730, procesada en QGIS.

Figura 2. Mapa imagen satelital 2018 color verdadero landsat-8



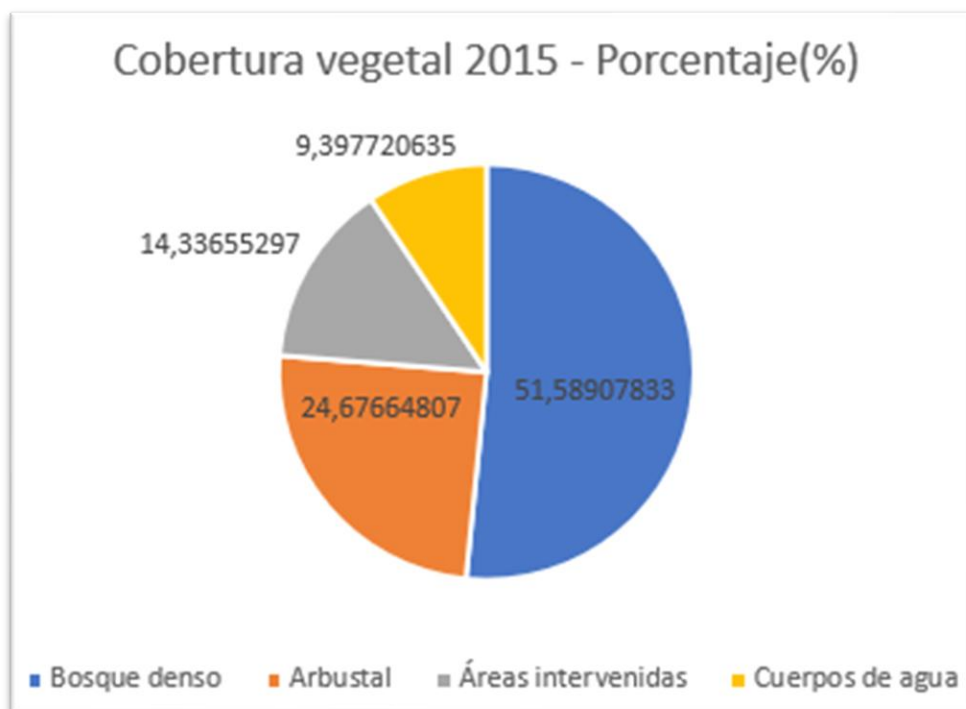
Fuente: elaboración propia a partir de imagen satelital Landsat 8 (USGS EarthExplorer), escena LC08_L1TP_008057_20180718, procesada en QGIS.

Figura 4. Mapa cobertura vegetal 2015.



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen satelital Landsat 8 (USGS EarthExplorer), clasificación realizada en QGIS mediante algoritmo Maximum Likelihood.

Figura 5. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2015.

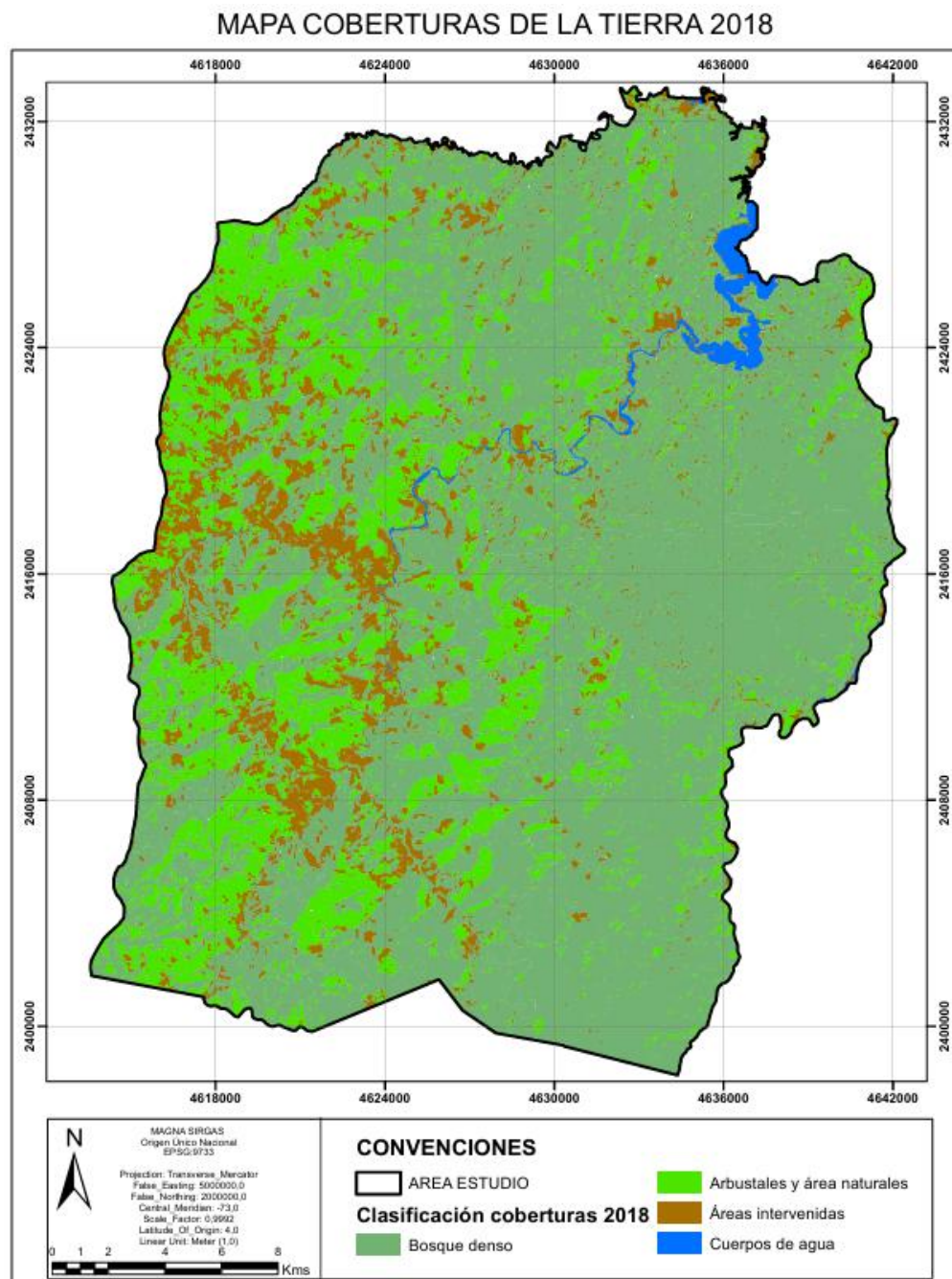


Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación supervisada de la imagen Landsat 8 (2015). Cálculos realizados en QGIS y representación gráfica en Excel.

Los resultados obtenidos se presentan a través de mapas temáticos y diagramas de distribución de coberturas por año (Figuras 5 a 10), los cuales evidencian una tendencia general a la persistencia del bosque denso como cobertura dominante en todas las fechas observadas.

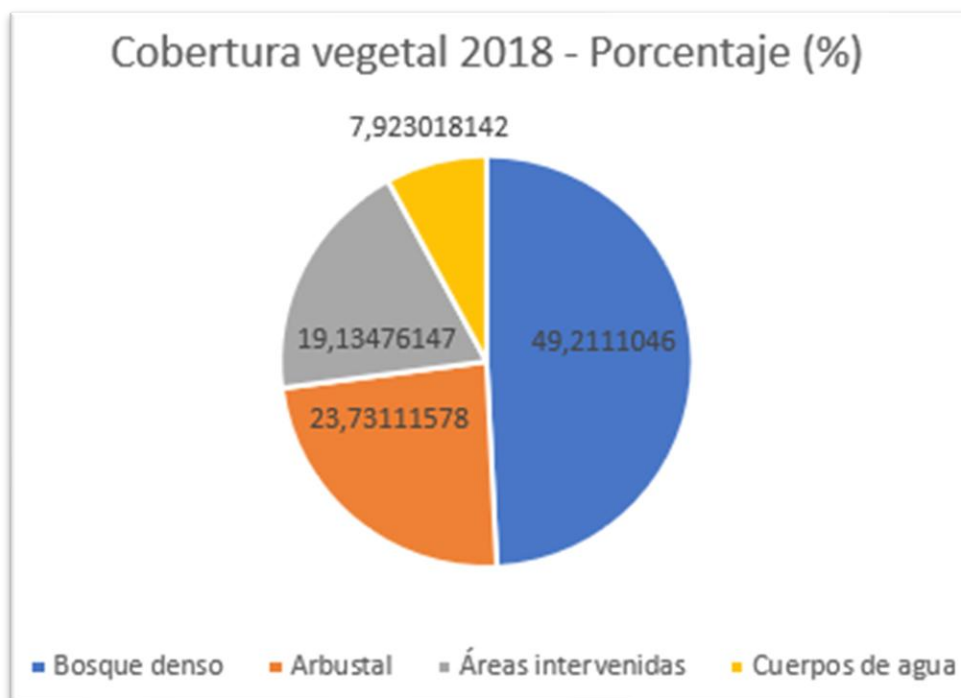
Durante el análisis multitemporal de las coberturas del área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, se identificaron variaciones importantes en la distribución espacial de las categorías evaluadas para los años 2015, 2018 y 2024. En el año 2015, el bosque denso se consolidó como la cobertura dominante, abarcando más del 50% del área de estudio, lo que evidencia una condición aún favorable de conservación en amplios sectores del territorio, seguido de los arbustales y áreas naturales con un 24%, áreas intervenidas con un 14% y cuerpos de agua con una representación del 9%.

Figura 6. Mapa cobertura vegetal 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen satelital Landsat 8 (USGS EarthExplorer), clasificación realizada en QGIS mediante algoritmo Maximum Likelihood.

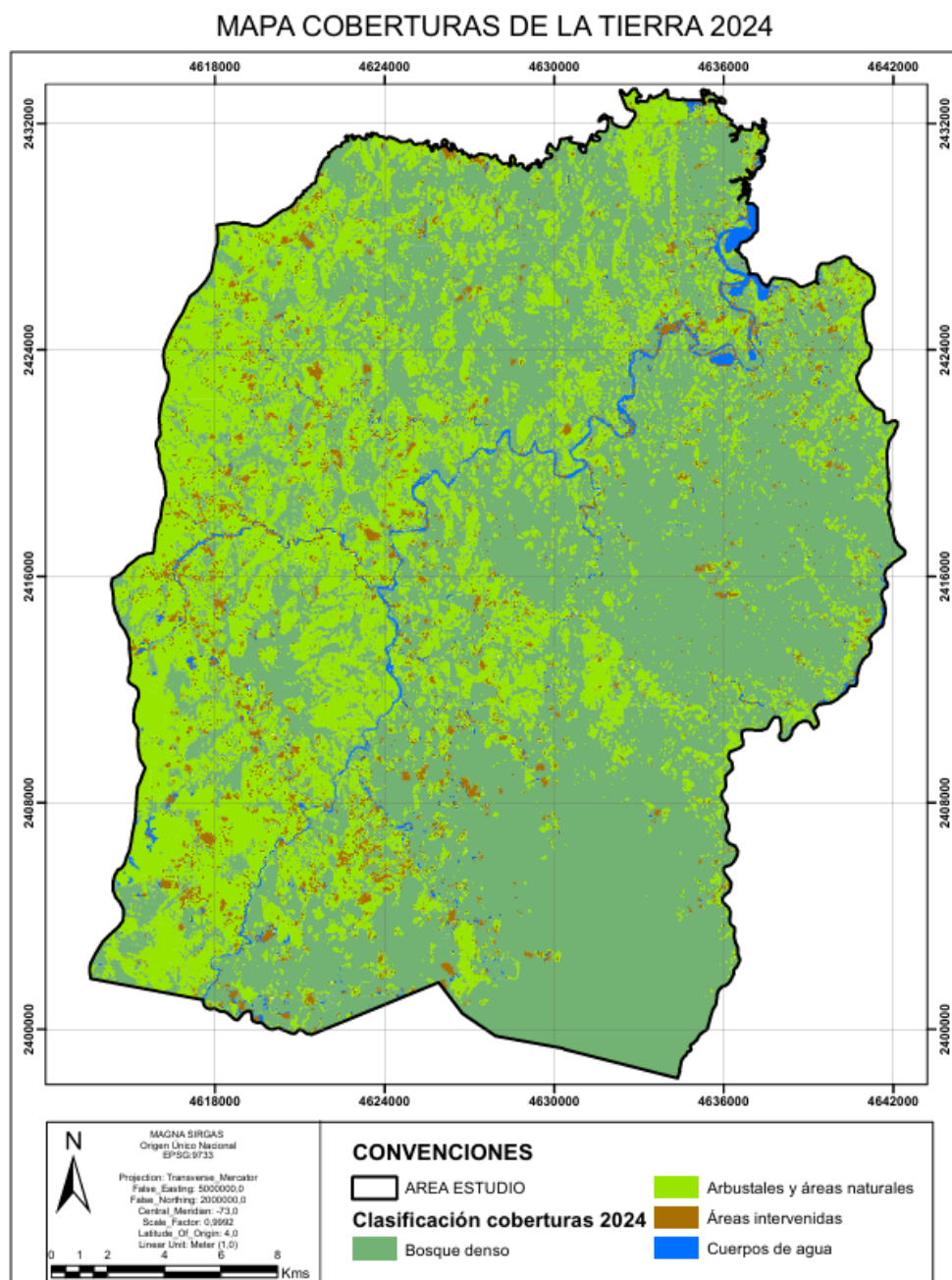
Figura 7. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2018.



Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación supervisada de la imagen Landsat 8 (2018). Cálculos realizados en QGIS y representación gráfica en Excel.

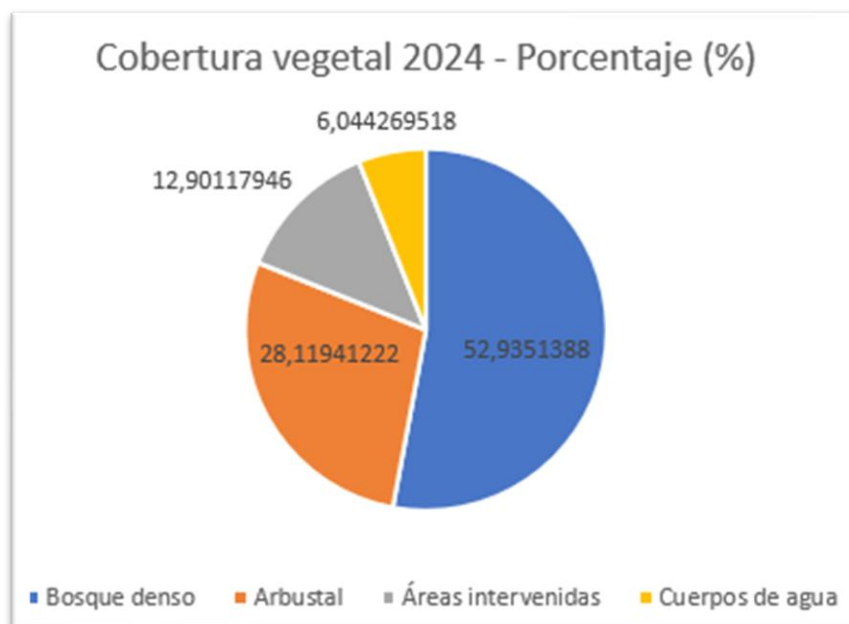
Para el año 2018, se registró una leve reducción en la cobertura de bosque denso, la cual descendió al 49%, a la vez que se incrementó la presencia de áreas intervenidas alcanzando un 19%, mientras que tanto los arbustales como los cuerpos de agua mostraron una ligera disminución, ubicándose en 23% y 7% respectivamente. Finalmente, en el año 2024 se evidenció un cambio notable en la cobertura de arbustales, los cuales aumentaron al 28%, posiblemente como resultado de procesos de regeneración secundaria o disminución de presión antrópica en ciertas zonas. De forma paralela, el bosque denso mostró signos de recuperación, regresando a valores cercanos al 50%, mientras que las áreas intervenidas experimentaron una reducción significativa, descendiendo al 12%. Los cuerpos de agua continuaron su tendencia a la baja, con una cobertura del 6%, lo cual podría estar relacionado con factores tanto naturales como derivados del uso del suelo.

Figura 8. Mapa cobertura vegetal 2024



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen satelital Landsat 9 (USGS EarthExplorer), clasificación realizada en QGIS mediante algoritmo Maximum Likelihood.

Figura 9. Diagrama pastel que refleja la distribución de coberturas para el año 2024.



Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación supervisada de la imagen Landsat 9 (2015). Cálculos realizados en QGIS y representación gráfica en Excel.

b. Fase 2: Resultados de Métricas de Fragmentación

Con el propósito de evaluar cuantitativamente la estructura espacial del paisaje y la dinámica de la fragmentación en el área de estudio, se aplicaron cuatro métricas claves que han demostrado ser efectivas en el análisis de conectividad estructural: el Número de Fragmentos (NP), el Índice de Área de Núcleo (CAI), la Conectancia (CONNECT) y la Cohesión del Paisaje (COHESION). La selección de estas métricas respondió a su capacidad para describir distintos aspectos de la fragmentación del hábitat, permitiendo integrar dimensiones relacionadas con el tamaño, forma, dispersión y conectividad de las coberturas vegetales.

El procesamiento de estas métricas se realizó mediante el software FRAGSTATS, a partir de los mapas clasificados para los años 2015, 2018 y 2024. Para asegurar la coherencia metodológica, se estructuraron previamente los archivos ráster con codificación de clases y se definieron los parámetros espaciales consistentes para cada análisis. Los valores obtenidos para cada métrica y cada año se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 1. Métricas para coberturas del 2015 – Fragstats.

2015				
Macro clase	NP	CAI	CONNECT	COHESION
Bosque denso	2889	0,03	0,36	99,94
Arbustales	2864	0,14	0,32	90,71
Áreas intervenidas	3787	0,10	0,24	89,69
Cuerpos de agua	8872	0,11	0,18	96,05

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2. Métricas para coberturas del 2018 – Fragstats.

2018				
Macro clase	NP	CAI	CONNECT	COHESION
Bosque denso	3277	0,03	0,37	99,84
Arbustales	7961	0,04	0,19	92,90
Áreas intervenidas	9856	0,07	0,17	96,10
Cuerpos de agua	187	0,24	1,66	96,90

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Métricas para coberturas del 2024 – Fragstats.

2024				
TYPE	NP	CAI	CONNECT	COHESION
Bosque denso	5885	0,07	0,23	99,30
Arbustales	4579	0,02	0,24	73,08
Áreas intervenidas	2551	0,09	0,40	99,86
Cuerpos de agua	779	0,08	0,53	95,21

Fuente: Elaboración Propia.

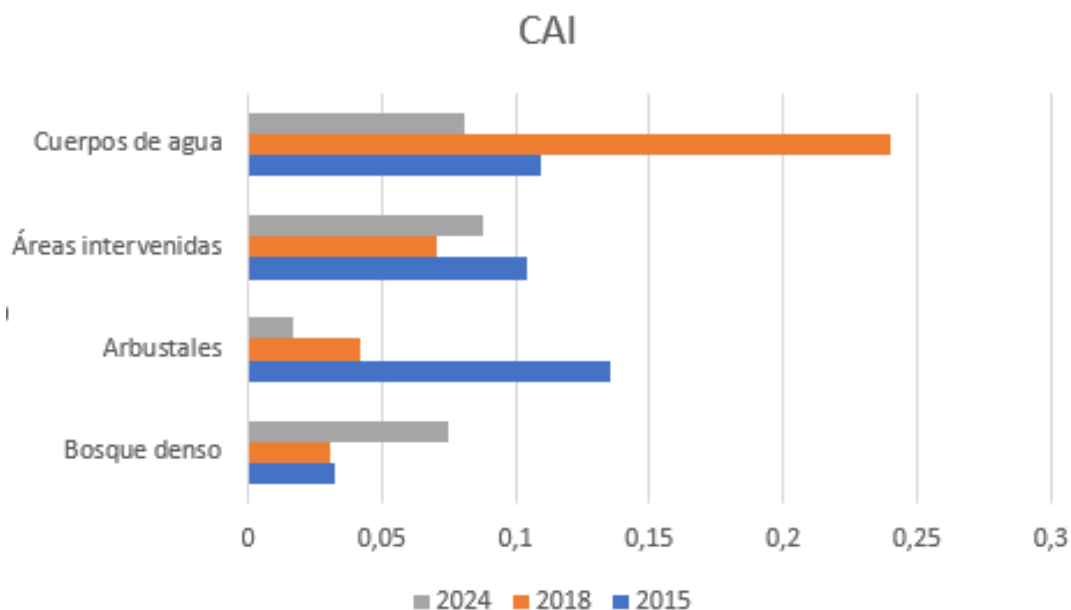
Después de obtener las métricas de fragmentación para cada clase, se procede a realizar el análisis multitemporal de los años 2015-2018-2024. Se presentan en las tablas 5, 6 y 7, distribuidas por métricas evaluando los años de cada macroclase.

Índice de Área de Núcleo (CAI): En 2015, los valores oscilaron entre 0,0322 (bosque denso) y 0,1356 (arbustales). Para 2018, se observó un descenso generalizado, excepto en cuerpos de agua, que alcanzaron un valor de 0,2396. En 2024, el valor de CAI más alto correspondió al bosque denso (0,0745), mientras que arbustales descendieron a 0,0167.

Tabla 4. Comparación índice área de núcleo (CAI).

	CAI			
	Bosque denso	Arbustales	Áreas intervenidas	Cuerpos de agua
2015	0,03	0,14	0,10	0,11
2018	0,03	0,04	0,07	0,24
2024	0,07	0,02	0,09	0,08
	Aumenta	Disminuye	Disminuye	Se mantiene

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 10. Relación años coberturas sobre métrica CAI.

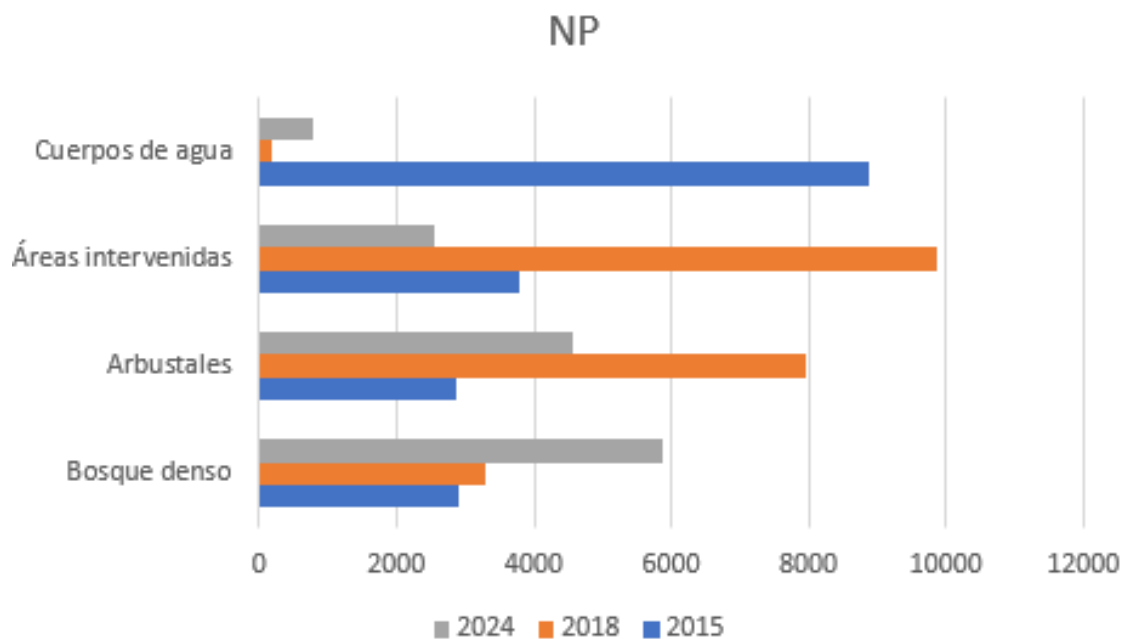
Fuente: Elaboración propia con base en datos procesados en FRAGSTATS v4.2 a partir de mapas clasificados en QGIS. Representación gráfica realizada en Excel.

Número de Fragmentos (NP): En 2015, los cuerpos de agua presentaron la mayor cantidad de fragmentos (8.872), mientras que las áreas intervenidas alcanzaron 3.787. En 2018, se incrementaron significativamente los fragmentos en arbustales (7.961) y áreas intervenidas (9.856). Para 2024, el valor más alto se registró en bosque denso (5.885), seguido de arbustales (4.579).

Tabla 5. Comparación Numero de parches (NP)

	NP			
	Bosque denso	Arbustales	Áreas intervenidas	Cuerpos de agua
2015	2889	2864	3787	8872
2018	3277	7961	9856	187
2024	5885	4579	2551	779
	Aumenta	Aumenta	Disminuye	Disminuye

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 11. Relación años coberturas sobre métrica NP.

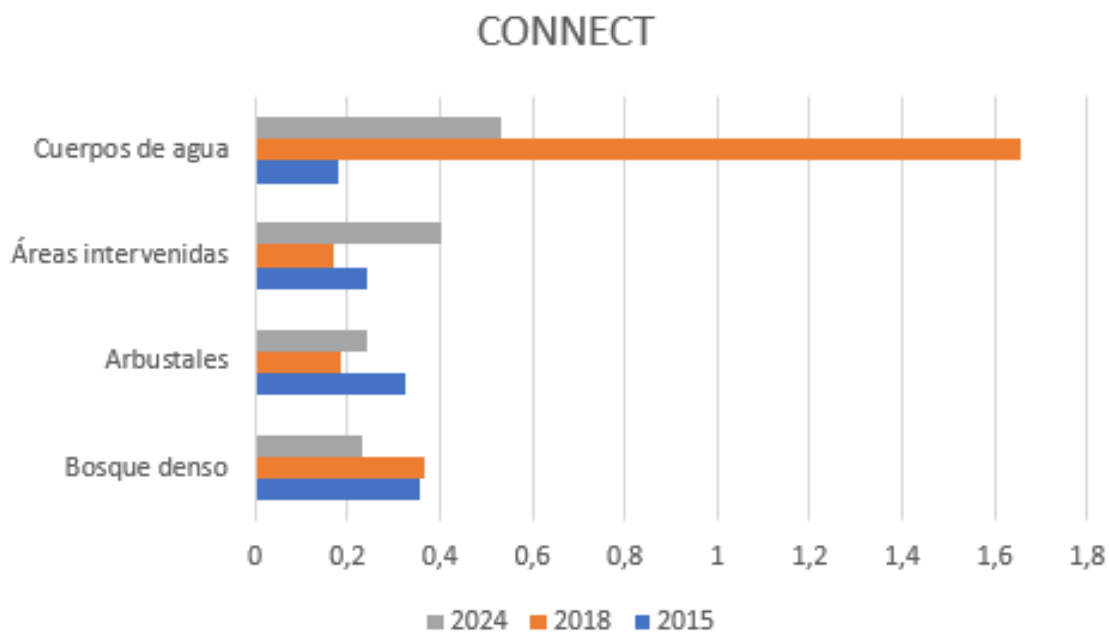
Fuente: Elaboración propia con base en métricas calculadas en FRAGSTATS v4.2 sobre clasificaciones multitemporales desarrolladas en QGIS. Representación gráfica elaborada en Excel.

Conectividad (CONNECT): En 2015, el bosque denso y los arbustales mostraron niveles moderados de conectividad (0,3565 y 0,3229, respectivamente). En 2018, la conectancia más alta se presentó en cuerpos de agua (1,656). En 2024, el valor más alto se registró en áreas intervenidas (0,4022), mientras que el bosque denso disminuyó a 0,2331.

Tabla 6. Comparación Conectividad (CONNECT)

	CONNECT			
	Bosque denso	Arbustales	Áreas intervenidas	Cuerpos de agua
2015	0,36	0,32	0,24	0,18
2018	0,37	0,19	0,17	1,66
2024	0,23	0,24	0,40	0,53
	Disminuye	Disminuye	Aumenta	Aumenta

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 12. Relación años coberturas sobre CONNECT.

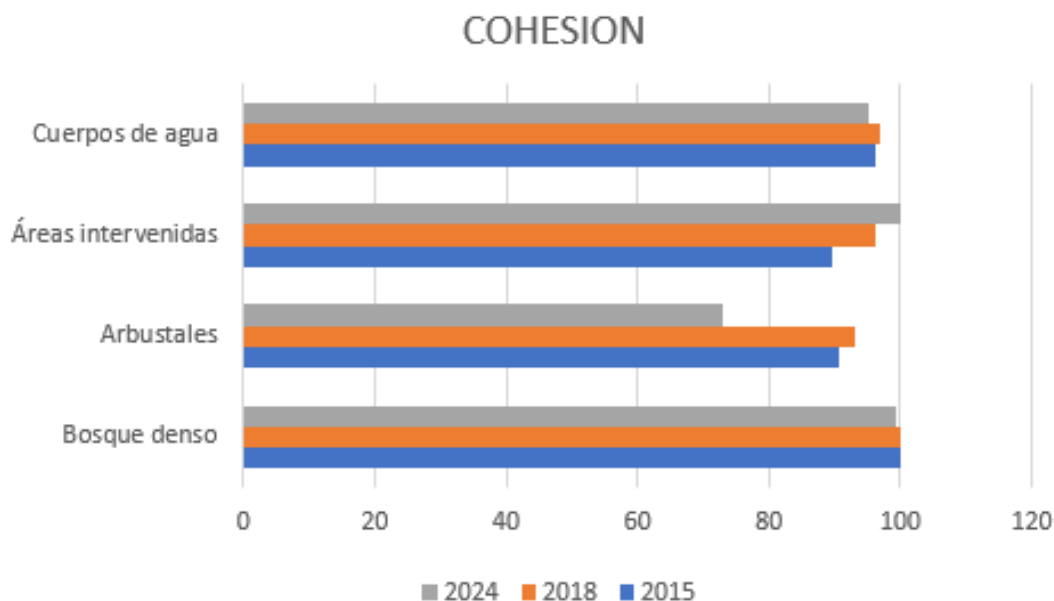
Fuente: Elaboración propia con base en métricas calculadas en FRAGSTATS v4.2 sobre clasificaciones multitemporales desarrolladas en QGIS. Representación gráfica elaborada en Excel.

Cohesión del paisaje (COHESION): El bosque denso mantuvo un alto nivel de cohesión en todos los años (>99). En cambio, los arbustales pasaron de 90,70 en 2015 a 73,07 en 2024. Las áreas intervenidas y los cuerpos de agua mostraron valores relativamente estables.

Tabla 7. Comparación cohesión.

	COHESION			
	Bosque denso	Arbustales	Áreas intervenidas	Cuerpos de agua
2015	99,94	90,71	89,69	96,05
2018	99,84	92,90	96,10	96,90
2024	99,30	73,08	99,86	95,21
	Se mantiene	Disminuye	Aumenta	Se mantiene

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 13. Relación años coberturas sobre metrica NP.

Fuente: Elaboración propia con base en métricas calculadas en FRAGSTATS v4.2 sobre clasificaciones multitemporales desarrolladas en QGIS. Representación gráfica elaborada en Excel.

Las cifras presentadas permiten caracterizar cuantitativamente la estructura del paisaje en el área de estudio, mostrando variaciones específicas entre los distintos tipos de cobertura vegetal durante los años analizados. Esta información constituye la base para la etapa posterior de identificación de corredores ecológicos y será interpretada con mayor profundidad en el capítulo de análisis y discusión.

c. Fase 3: Identificación de Rutas de Conectividad estructural y Propuesta de Corredores Biológicos

La tercera fase del estudio se enfocó en la identificación y delimitación de corredores biológicos potenciales dentro del área de influencia del Parque Nacional Natural Paramillo. Esta etapa parte del análisis espacial de las métricas de fragmentación descritas previamente, particularmente la conectancia y la cohesión del paisaje, ya que estas permiten localizar áreas del territorio que presentan mayor grado de aislamiento y pérdida de continuidad. En estos sitios, la necesidad de conectividad es más apremiante para mitigar los efectos negativos de la fragmentación.

Se estableció como prioridad de conectividad la macroclase de bosque denso, debido a su alta biodiversidad, su rol como hábitat principal de múltiples especies sensibles y su función como núcleo ecológico. Para identificar las rutas óptimas de conexión entre fragmentos de bosque denso, se aplicaron herramientas de análisis de costo acumulado y rutas de menor resistencia (least-cost paths), considerando como matriz de resistencia los valores de conectividad estructural y el tipo de cobertura circundante. Este análisis se llevó a cabo en QGIS, integrando capas ráster derivadas del modelo de fragmentación y restricciones ecológicas basadas en topografía, barreras naturales (ríos principales) y clases de cobertura con alta resistencia al movimiento faunístico (por ejemplo, áreas intervenidas).

Los resultados permitieron identificar zonas clave de conectividad estructural, especialmente en sectores donde grandes núcleos de bosque se encuentran separados por arbustales o mosaicos de áreas intervenidas. Se observaron patrones recurrentes de fragmentación lineal, vinculados a la presencia de cauces fluviales, lo que limita la movilidad natural de muchas especies. No obstante, en algunos casos, la presencia de coberturas naturales intermedias como arbustales relativamente conservados, actuó como puente funcional entre parches más extensos de bosque, lo cual fue aprovechado para proponer conexiones viables.

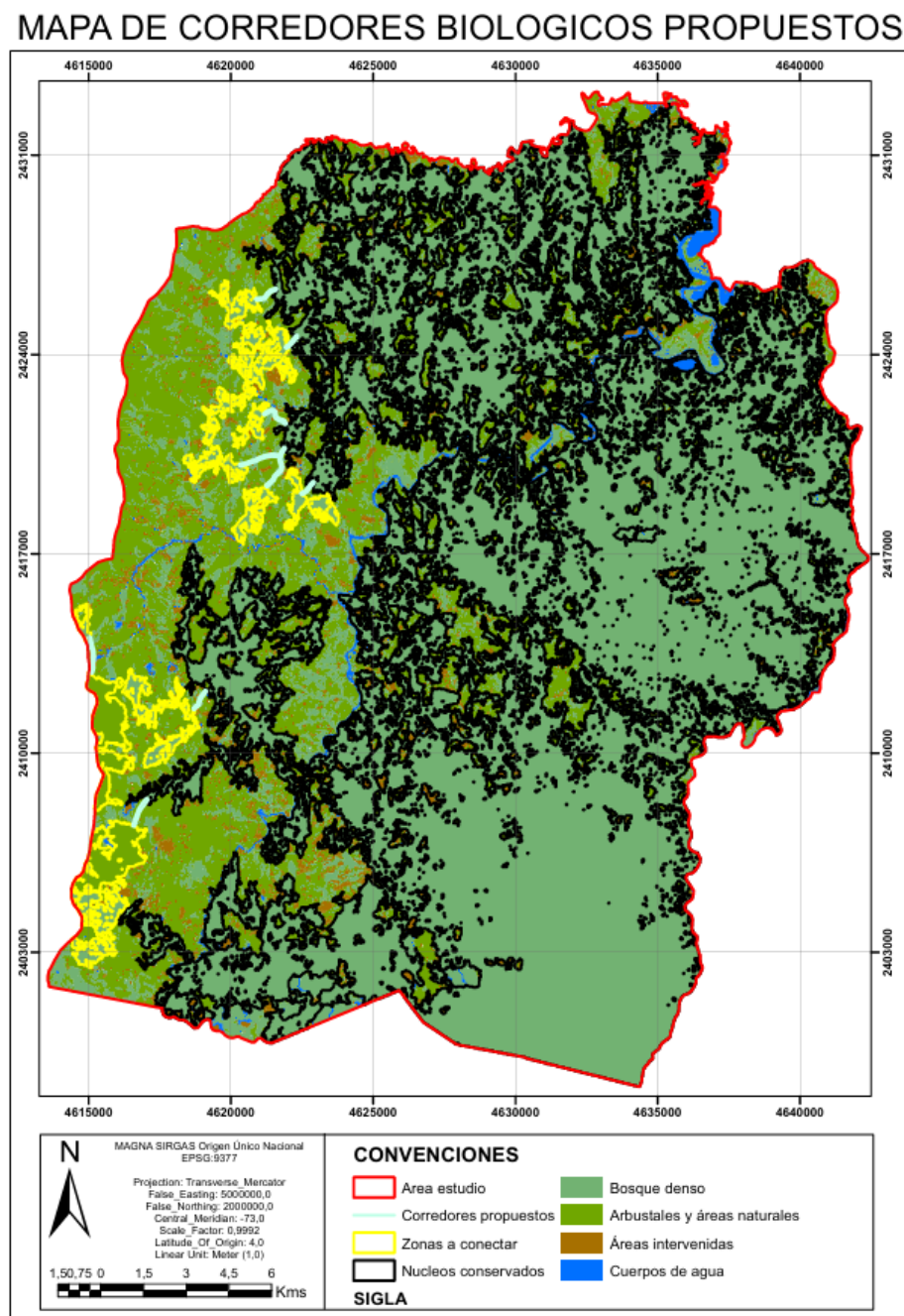
La propuesta de corredores biológicos fue construida teniendo en cuenta criterios como la distancia funcional entre fragmentos, la calidad del hábitat intermedio, la orientación del paisaje y

la continuidad estructural de las coberturas naturales. En total, se diseñaron varios corredores ecológicos de tipo lineal y en abanico, que permitirían conectar zonas con alta biodiversidad y mejorar el flujo genético entre poblaciones fragmentadas. Estas rutas proponen cruzar áreas de baja resistencia ecológica, priorizando conectividad transversal en sectores donde la fragmentación es más severa.

Posteriormente, se realizó una revisión crítica de los corredores propuestos, con base en criterios logísticos como la accesibilidad para acciones de restauración, la viabilidad de implementación frente a usos del suelo actuales y la articulación con áreas núcleo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Esta validación permitió ajustar algunos trazados, descartando corredores cuya viabilidad ecológica era alta pero cuya implementación práctica sería compleja o costosa.

Finalmente, el mapa de corredores biológicos propuestos (Figura 15) sintetiza la estrategia de conectividad espacial recomendada para la región. Este producto cartográfico, además de servir como insumo para la planificación de acciones de conservación, puede orientar futuras iniciativas de restauración ecológica, investigación de especies focales y políticas públicas territoriales que busquen armonizar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo rural en zonas de alta sensibilidad ecológica como el norte del PNN Paramillo.

Figura 14. Mapa de corredores biológicos propuestos.



Fuente: Elaboración propia mediante análisis de costo acumulado en QGIS, con base en clasificaciones multitemporales derivadas de imágenes Landsat 8 y 9. Criterios de resistencia definidos por pendiente, tipo de cobertura y distancia entre fragmentos.

11. Análisis e interpretación de resultados

a. Análisis mapas de coberturas 2015-2018-2024

Para el año 2015, el bosque denso es el tipo de cobertura predominante superando el 50% del área de estudio, aunque mostró una ligera reducción en 2018 (49%), seguida de una recuperación en 2024, retornando a valores similares al primer periodo.

Más allá de los porcentajes, los mapas temáticos permiten observar con mayor detalle la distribución espacial de los cambios. Se evidencian áreas localizadas de pérdida de bosque denso, particularmente en los bordes occidentales y sectores del centro-norte, donde aumentan progresivamente las áreas intervenidas y los parches arbustivos. Esta dinámica sugiere un patrón de fragmentación desde los márgenes hacia el núcleo, posiblemente asociado a presiones humanas en zonas periféricas del parque. De forma complementaria, en 2024 se nota una leve recuperación del bosque denso en zonas del sur y sureste, lo que podría corresponder a procesos de regeneración secundaria o reducción de presiones antrópicas directas.

En el caso de los arbustales, se observa una disminución entre 2015 (24%) y 2018 (23%), seguida de un incremento significativo en 2024 (28%). Esta variabilidad sugiere procesos de regeneración natural o abandono de áreas previamente intervenidas. Las áreas intervenidas, por su parte, aumentaron entre 2015 (14%) y 2018 (19%), posiblemente debido a expansión de actividades antrópicas, pero descendieron en 2024 (12%), lo cual puede relacionarse con procesos de revegetalización o abandono.

Si bien el análisis multitemporal ofrece información valiosa sobre la evolución del paisaje, es importante reconocer ciertas limitaciones inherentes a los datos satelitales, como la resolución media (30 m) y la dificultad de distinguir coberturas similares en zonas con mezclas espectrales (por ejemplo, cuerpos de agua con vegetación flotante o márgenes con alta humedad). Por esta razón, algunas fluctuaciones menores, especialmente en las clases de cuerpos de agua y arbustales, deben interpretarse con cautela. Aun así, el patrón general muestra tendencias robustas que

justifican la siguiente fase de análisis, centrada en la cuantificación de la fragmentación y la evaluación de su impacto en la conectividad estructural.

Respecto a los cuerpos de agua, su comportamiento fue más difícil de interpretar debido a la resolución espacial de las imágenes y la posible confusión espectral generada por sedimentos y bordes difusos. Aun así, se identificó una tendencia a la ligera disminución: del 9% en 2015 al 7% en 2018 y 6% en 2024.

Estos hallazgos permiten establecer una primera aproximación a los cambios en la estructura del paisaje, constituyendo la base para el análisis de métricas de fragmentación y conectividad estructural que se desarrolla en los siguientes apartados.

b. Análisis de métricas de fragmentación

En análisis de los resultados obtenidos en las métricas de fragmentación revelan tendencias específicas por tipo de cobertura:

Bosque denso

Esta clase, dominante en el área, presentó un aumento en el número de fragmentos (NP) a lo largo del tiempo: de 2889 en 2015 a 5885 en 2024. Este patrón evidencia un proceso progresivo de fragmentación, posiblemente asociado a la expansión de áreas intervenidas y arbustales que interrumpen la continuidad del bosque. A pesar de ello, el índice de cohesión se mantuvo alto en los tres periodos (>99), lo que sugiere que, aunque más fragmentado, el bosque todavía conserva una estructura espacial relativamente conectada. No obstante, la conectancia disminuyó de 0,3565 en 2015 a 0,2331 en 2024, reflejando una menor probabilidad de conexión funcional entre parches dentro de un radio de dispersión estándar. Finalmente, el CAI mostró un ligero aumento (de 0,0322 a 0,0745), lo que puede indicar un incremento en el área interna de los parches, posiblemente relacionado con regeneración local o expansión de algunos fragmentos centrales.

Arbustales y áreas naturales

Esta macroclase evidenció una disminución en cohesión estructural y una marcada variabilidad en el número de parches. En 2018, se registró el valor más alto de NP (7961), coincidiendo con un descenso en CAI y CONNECT. Para 2024, si bien el número de fragmentos disminuyó (4579), el índice de cohesión cayó abruptamente a 73,07, lo que podría estar asociado a procesos de conversión hacia coberturas intervenidas o pérdida de continuidad ecológica en zonas de transición. La conectancia mostró un comportamiento inestable, con una disminución entre 2015 y 2018, seguida de un leve repunte en 2024 (0,2431), aunque sin alcanzar los valores iniciales. Esta situación refleja una cobertura en constante cambio, susceptible tanto a procesos naturales de sucesión como a presiones antrópicas difusas.

Áreas intervenidas

Contrario a lo esperado, esta cobertura registró un incremento notable en el índice de cohesión, alcanzando un valor de 99,85 en 2024, lo que podría explicarse por la consolidación espacial de ciertas áreas perturbadas, posiblemente en zonas cercanas a vías o actividades agropecuarias estables. El número de fragmentos, sin embargo, disminuyó significativamente de 9.856 en 2018 a 2.551 en 2024, lo que sugiere un patrón de expansión continua o coalescencia de áreas intervenidas. Asimismo, la conectancia aumentó de manera sostenida, alcanzando su máximo en 2024 (0,4022), lo que representa un mayor grado de interconexión entre parches perturbados, con implicaciones negativas para la conectividad funcional de la matriz boscosa. El CAI, por otro lado, se redujo levemente, evidenciando que las áreas centrales de intervención tienden a mantener bordes expuestos, vulnerables a procesos de degradación secundaria.

Cuerpos de agua

Finalmente, esta categoría mostró resultados complejos de interpretar, debido a las limitaciones espaciales y espectrales ya mencionadas. A pesar de ello, se identificó una reducción en la cantidad de fragmentos (de 8872 en 2015 a 779 en 2024), acompañada de un aumento progresivo en el índice de conectancia (hasta 0,5306), lo que puede responder a mejores

condiciones de visibilidad en las imágenes más recientes o a cambios hidrológicos puntuales. La cohesión se mantuvo relativamente estable en torno al 95-96%, mientras que el CAI mostró ligeras oscilaciones.

En síntesis, el análisis temporal de las métricas evidencia que, aunque el bosque denso mantiene alta cohesión, sufre una fragmentación creciente en términos de número de parches y pérdida de conectividad funcional. Por su parte, las áreas intervenidas ganan espacio y se consolidan estructuralmente, mientras que los arbustales presentan una alta vulnerabilidad a la pérdida de estructura y función ecológica. Estos resultados sientan las bases para el diseño de estrategias de conectividad que serán abordadas en la fase siguiente.

c. Análisis de los corredores biológicos propuestos

Como análisis de la tercera fase metodológica, se llevó a cabo la delimitación de corredores biológicos con el fin de mejorar la conectividad estructural del paisaje en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo. Para ello, se empleó un modelo de menor costo acumulado (Least-Cost Path), el cual permitió establecer trayectorias de conectividad óptima entre parches de bosque denso, definidos como cobertura objetivo por su rol fundamental en el sostenimiento de la biodiversidad. Los criterios que guiaron la generación de la matriz de resistencia se basaron en la ausencia de barreras naturales como ríos y pendientes pronunciadas, así como en la cercanía espacial entre núcleos de bosque remanente, evitando trayectos fragmentados por usos intensivos del suelo o topografía restrictiva.

En el mapa generado se identifican dos tipos de corredores: primarios, representando rutas principales que conectan bloques de bosque denso de gran extensión o que originalmente formaban un mismo continuo ahora fragmentado; y secundarios, los cuales funcionan como ramificaciones que se integran a los corredores principales o facilitan la conexión de parches de menor tamaño. La cartografía también muestra los núcleos conservados en contorno negro sólido y las zonas a conectar en color turquesa, lo que permite visualizar de manera precisa la fragmentación estructural del bosque y los puntos críticos donde se requiere restablecer la continuidad ecológica.

La mayoría de los corredores propuestos son de tipo primario, dado que responden a la necesidad urgente de reconectar fragmentos significativos del bosque denso, distribuidos de forma discontinua a lo largo del paisaje. Estos corredores priorizan trayectos a través de coberturas de menor resistencia como arbustales y áreas naturales, evitando en lo posible las áreas intervenidas que dificultan el flujo biológico. Solo uno o dos corredores secundarios fueron definidos, los cuales tienen como función complementar la red principal y ofrecer rutas alternativas en sectores de transición o con conectividad parcial.

d. Análisis general de los resultados

Los resultados obtenidos a lo largo de las tres fases metodológicas permiten una lectura integral de los procesos de fragmentación de la cobertura vegetal en el área norte del Parque Nacional Natural Paramillo, así como del estado actual de su conectividad estructural. El análisis multitemporal evidenció una dinámica heterogénea de cambio en las coberturas de suelo durante los años 2015, 2018 y 2024, en la cual se identifican tendencias tanto de degradación como de recuperación en determinadas zonas del territorio.

En términos generales, el bosque denso, aunque se mantiene como cobertura dominante, ha sufrido un proceso creciente de fragmentación estructural. Esto se refleja en el incremento del número de fragmentos (NP) y la reducción de su conectancia, indicadores que alertan sobre una posible disminución en la funcionalidad ecológica del paisaje, particularmente en cuanto a la movilidad de especies y el mantenimiento del flujo genético entre poblaciones. No obstante, su índice de cohesión continúa siendo elevado, lo cual sugiere que aún existen grandes bloques de vegetación continua que pueden ser clave en una estrategia de conectividad.

En contraste, las áreas intervenidas presentan un patrón ambivalente: si bien disminuyen en extensión en el último periodo (2024), sus niveles de conectividad interna aumentan, lo que implica una consolidación espacial de los usos antrópicos. Este hallazgo resulta preocupante, ya que tales áreas suelen actuar como barreras ecológicas, afectando negativamente la integridad del paisaje y fragmentando hábitats críticos.

Los arbustales y áreas naturales, por su parte, exhiben una notable vulnerabilidad. La disminución progresiva en su cohesión y CAI sugiere una pérdida de calidad ecológica y de funcionalidad como zonas de amortiguación o transición. Dado que estas coberturas pueden funcionar como corredores secundarios, su deterioro representa una amenaza indirecta para la conectividad del bosque denso.

Frente a este panorama, los corredores biológicos propuestos surgen como una respuesta estratégica orientada a mitigar los efectos de la fragmentación. El análisis de menor costo acumulado permitió identificar rutas potenciales que aprovechan zonas de baja resistencia (principalmente arbustales) para conectar fragmentos de bosque aislados. La viabilidad ecológica de estas rutas fue respaldada por sus niveles aceptables de cohesión y cercanía relativa a los bloques conservados, lo cual aumenta la probabilidad de funcionalidad en términos de dispersión, migración y recolonización de especies.

En suma, los resultados confirman que la fragmentación es un proceso activo y multifactorial que exige intervenciones integradas. La metodología utilizada (basada en análisis multitemporal, métricas de paisaje y modelamiento espacial) ha demostrado ser adecuada para diagnosticar el estado actual del ecosistema y proponer acciones concretas. Este enfoque no solo permite evaluar la situación presente, sino que también ofrece una base técnica sólida para planificar acciones de conservación orientadas por criterios científicos, facilitando así la toma de decisiones a nivel institucional y territorial.

12. Discusión

Uno de los principales hallazgos fue que, pese a mantener una alta proporción de bosque denso, en general el PNN Paramillo presenta una clara tendencia hacia la fragmentación estructural, reflejada en el aumento de parches y la reducción de conectancia, aun cuando la cohesión sigue siendo alta, señalando una alteración progresiva del paisaje. Esto coincide con lo observado por Lozano y Sora (2020), quienes identificaron patrones similares en el Caribe colombiano, donde la deforestación selectiva y las actividades agropecuarias fueron determinantes en la pérdida de conectividad estructural.

La interpretación de las métricas también reveló una disminución de las áreas intervenidas para 2024, no obstante, también siguieron un proceso de consolidación espacial, lo que Botero Tobon et al., (2024), sugiere podría estar evidenciando una estabilización de usos antrópicos, en lugar de una recuperación natural. En contraste, los arbustales y áreas naturales muestran pérdida de cohesión y reducción en el índice de área de núcleo (CAI), lo que alerta sobre la degradación sobre estas importantes coberturas, que sirven de puente o zona de amortiguación entre núcleos de vegetación más conservados, tal y como señala Ramos (2022), quien además destaca su importancia como corredores funcionales en territorios donde la presión humana limita el uso exclusivo de bosques densos como elementos de conectividad.

Frente a este contexto, la identificación y propuesta de corredores se plantea como un instrumento de planeación territorial, ya que las rutas propuestas fueron delimitadas sobre bases ecológicas y técnicas sólidas, en línea con metodologías implementadas por autores como Leija et al. (2023), quienes modelaron corredores en paisajes fragmentados del bosque de niebla mexicano, concluyendo que la conectividad estructural (aunque debilitada) puede ser parcialmente restaurada si se aplican estrategias de manejo en los puntos adecuados del paisaje.

Además, el diseño de corredores en este estudio presenta una visión integrada coherente con los lineamientos del Decreto 2372 de 2010, que establece la necesidad de articular la planificación ecológica con el ordenamiento territorial y la participación de actores locales, algo

que, aunque no abordado directamente en este trabajo, se reconoce como una dimensión clave para futuras implementaciones.

De igual modo, es pertinente destacar la validez metodológica del enfoque SIG aplicado, que permitió visualizar los cambios paisajísticos, cuantificarlos y modelarlos espacialmente, como un aporte a la consolidación de métodos replicables en otras áreas protegidas del país, también impactadas por la fragmentación. Tal como proponen Morales y Puyo (2024), el uso de imágenes satelitales, métricas espaciales y análisis de rutas es una herramienta potente para apoyar la toma de decisiones basada en evidencia.

Este estudio evidencia que cada tipo de cobertura vegetal aporta de manera diferenciada a la conectividad estructural del paisaje. El bosque denso representa la base estructural del ecosistema y ofrece núcleos funcionales con alta cohesión, los arbustales presentan mayor fragilidad y variabilidad interanual, haciéndolos críticos en procesos de restauración y las áreas intervenidas se consolidan espacialmente y configuran zonas de resistencia ecológica que deben ser consideradas tanto en términos de mitigación, como de manejo activo. En conjunto, los resultados describen un estado actual de fragmentación y ofrecen un insumo valioso para el diseño de estrategias de conservación adaptativas y la planificación. Su implementación, articulada con actores del territorio y planes de manejo existentes, podría fortalecer la integridad del Parque Nacional Natural Paramillo, proyectándolo como un modelo replicable en otras áreas naturales protegidas del país.

13. Conclusiones

A pesar de mantener altos niveles de cohesión, el bosque denso mostró un aumento en el número de fragmentos y la disminución de la conectancia que reflejan una pérdida de integridad ecológica, evidenciando cómo la presión antrópica y la transformación del paisaje han comprometido la conectividad ecológica de este ecosistema estratégico para la biodiversidad.

Las métricas de fragmentación revelaron que las áreas intervenidas han consolidado su estructura espacial a lo largo del tiempo, mientras que los arbustales han perdido cohesión y funcionalidad ecológica. Lo que indica que la fragmentación no ocurre de forma homogénea, sino que responde a dinámicas específicas de cada tipo de cobertura

La metodología aplicada, basada en el análisis de menor costo acumulado y en métricas de resistencia del paisaje, demostró ser eficaz para establecer trayectorias que podrían ser funcionales ecológicamente y viables en términos logísticos. Estos corredores no solo ayudarían a restaurar la conectividad ecológica, sino también a orientar acciones de conservación y restauración en áreas críticas del parque.

Finalmente, puede concluirse que el enfoque metodológico utilizado, apoyado en herramientas SIG, imágenes satelitales y métricas de paisaje, resultó adecuado para diagnosticar el estado actual de fragmentación y conectividad estructural. Además, ofrece una base replicable para otros estudios en áreas protegidas que enfrentan problemáticas similares, ya que no solo aporta conocimiento aplicado al caso del PNN Paramillo, sino que también fortalece el uso de tecnologías geoespaciales en la gestión ambiental y en la planificación territorial. De esta forma, se logró cumplir con el objetivo general del estudio, al analizar la fragmentación de la cobertura vegetal mediante herramientas SIG y proponer rutas de conectividad estructural. Igualmente, se cumplieron los objetivos específicos relacionados con la caracterización multitemporal de coberturas, la evaluación de métricas de fragmentación y la delimitación de corredores funcionales.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar los análisis espaciales como una herramienta fundamental en la planificación ambiental de áreas protegidas como el Parque Nacional Natural Paramillo, especialmente en contextos de transición social y ecológica como el colombiano, donde los cambios en el uso del suelo y la presión antrópica demandan respuestas técnicas con enfoque territorial, adaptativo y prospectivo.

14. Recomendaciones y limitaciones

a. Recomendaciones

En atención a los hallazgos obtenidos y con miras a fortalecer los procesos de conservación y conectividad ecológica en el Parque Nacional Natural Paramillo, se proponen las siguientes recomendaciones, orientadas tanto a la gestión ambiental como al desarrollo de futuras investigaciones:

- Profundizar en estudios de conectividad funcional que incluyan no solo métricas estructurales del paisaje, sino también datos sobre especies indicadoras, comportamientos de dispersión y requerimientos ecológicos específicos. Esto permitiría validar la efectividad real de los corredores propuestos y priorizar aquellos que maximicen la movilidad biológica.
- Integrar datos de campo sobre biodiversidad y usos del suelo, especialmente en zonas de transición y áreas intervenidas, con el fin de refinar los modelos de resistencia y ajustar la propuesta de corredores a condiciones ecológicas y sociales actuales. La incorporación de variables socioambientales mejorará la pertinencia y viabilidad de los diseños espaciales.
- Implementar monitoreos periódicos multitemporales que permitan evaluar la evolución de la fragmentación vegetal en lapsos de cinco años o menos. Para ello, se sugiere mantener el uso de imágenes satelitales de acceso libre (como Landsat o Sentinel) y complementar el análisis con imágenes de mayor resolución cuando sea posible.
- Incorporar a actores locales y autoridades ambientales en los procesos de validación de corredores biológicos, para fomentar estrategias de gestión participativa y garantizar la sostenibilidad de las acciones propuestas. El conocimiento tradicional y la experiencia territorial pueden aportar insumos valiosos para la gestión adaptativa del paisaje.

- Explorar el uso de modelos de conectividad más avanzados, como circuit theory (teoría de circuitos) o análisis basados en dispersión probabilística, que podrían complementar el enfoque de menor costo acumulado y proporcionar una visión más completa sobre los posibles flujos ecológicos en el territorio.
- Replicar esta metodología en otras áreas protegidas de Colombia, especialmente aquellas ubicadas en regiones de alta biodiversidad y fuerte presión antrópica. La sistematización de casos permitirá construir una base comparativa de métricas ecológicas útiles para la toma de decisiones en conservación a nivel nacional.
- Establecer alianzas entre universidades, Parques Nacionales y centros de investigación, que permitan fortalecer las capacidades técnicas y científicas en análisis espacial aplicado a la conservación, promoviendo investigaciones interdisciplinarias que integren ecología, geografía, política ambiental y tecnología SIG.

b. Limitaciones

Si bien el presente estudio logró cumplir sus objetivos, es importante reconocer ciertas limitaciones que podrían influir en la precisión de los resultados:

- Resolución espacial de las imágenes: el uso de datos satelitales Landsat (30 metros por píxel), implica que fragmentos de vegetación menores o estructuras lineales delgadas (como cercas vivas, franjas ribereñas o relictos boscosos angostos) no hayan sido captados adecuadamente. Elementos que pueden desempeñar un papel importante como conectores funcionales en la matriz del paisaje. Por consiguiente, es recomendable el uso de sensores de mayor resolución, Sentinel-2 (10 m), WorldView o drones, que permitirían capturar con mayor detalle la heterogeneidad del territorio.

- Clasificación supervisada: aunque se aplicaron algoritmos robustos y se utilizaron datos de entrenamiento validados visualmente, siempre existe un margen de error asociado a la similitud espectral entre ciertas coberturas, especialmente en zonas de transición entre arbustales y áreas intervenidas, o en cuerpos de agua con vegetación flotante, lo que podría generar confusiones en la clasificación, afectando el posterior cálculo de métricas.
- Métricas obtenidas con el software FRAGSTATS: las cuales se basan en una segmentación rasterizada que, si bien es útil para estudios a escala de paisaje, no considera dinámicas funcionales de las especies, como rangos de movilidad, comportamiento frente a barreras o requerimientos ecológicos específicos. Por lo tanto, se recomienda que futuras investigaciones integren datos biológicos o modelos de conectividad funcional, como teoría de circuitos (CircuitScape) o análisis de dispersión probabilística.
- Por último, el diseño de corredores se basó en criterios de resistencia derivados exclusivamente de las coberturas vegetales y elementos topográficos. Factores sociales, legales o de gobernanza territorial no fueron considerados en esta fase, lo cual limita, por ahora, la implementación práctica de las rutas propuestas.

15. Referencias

- Benítez Flórez, D. P. (2023). *Análisis de Amenazas por incendios forestales en el Parque Nacional Natural Paramillo*. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/6656>
- Blanco Ávila, D. L. (2024). *Priorización de predios para el saneamiento en los sectores Uré y San Pedro en el Parque Nacional Natural Paramillo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica*. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/7189>
- Botero Tobon, E., Guerra Layos Milton, D. M., & Vega Mier, jhonnatan. (2024, julio). *Análisis multitemporal de fragmentacion de bosques altoandinos en el municipio de Frontino Antioquia en los periodos 2015-2020*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/63697>
- Brook, B., Caro, T., Cereghino, R., Chen, J., Constantine, R., Fischer, M., Fonseca, C. R., Gaston, K., Godet, L., Gustafsson, L., Hawkins, S., Huettmann, F., Jiang, Z., Kirby, K., Krishnaswamy, J., Laurance, W., Lee, T. M., Lindenmayer, D., Marris, R., ... Moyle, P. (2016). *Biological Conservation*.
- Cañas Torres, J. A. (2020). *Análisis multitemporal y de fragmentación de los Parques Nacionales Naturales Yaigojé Apaporis, Río Puré, Cahuinari y Amacayacu entre 2007-2018*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37696>
- Carvajal-Vallejos, F. M., Salinas, A., & Van Damme, P. A. (2020). Vulnerabilidad de *Brachyplatystoma rousseauxii* e *Inia geoffrensis boliviensis* a la pérdida de conectividad fluvial en la Cuenca Amazónica Boliviana. *Editorial INIA*, 105-133.
- Chassot, O., Chaves, H., Finengan, B., & Monge, G. (2010). Dinámica de paisaje en la Zona Norte de Costa Rica: Implicaciones para la conservación del bosque tropical muy húmedo. *Revista de Ciencias Ambientales*, 39(1), 37-53. <https://doi.org/10.15359/rca.39-1.5>

Congreso de República de Colombia. (1974). *Decreto 2811 de 1974*. Departamento Administrativo de la Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Congreso de República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. *Departamento Administrativo de la Función Pública*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Congreso de República de Colombia. (1994). Ley 165 de 1994. *Departamento Administrativo de la Función Pública*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=37807>

Congreso de República de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997. *Diario Oficial No. 41.811*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Congreso de República de Colombia. (2010). *Decreto 2372 de 2010*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39961>

Congreso de República de Colombia. (2011). Decreto 3572 de 2011. *Departamento Administrativo de la Función Pública*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65329>

Congreso de República de Colombia. (2018). Ley 930 2018. *Departamento Administrativo de la Función Pública*.

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=87764

Cordova, L. A., Villalta, B. A. (2024). *Análisis multitemporal de la fragmentación de la cobertura vegetal del cantón Huaquillas, en los periodos comprendidos entre 1999 y 2023* (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum). <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6620>

- Dutta, T., Sharma, S., McRae, B. H., Roy, P. S., & DeFries, R. (2016). Connecting the dots: Mapping habitat connectivity for tigers in central India. *Regional Environmental Change*, 16(S1), 53-67. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0877-z>
- Fardila, D., Kelly, L. T., Moore, J. L., & McCarthy, M. A. (2017). A systematic review reveals changes in where and how we have studied habitat loss and fragmentation over 20years. *Biological Conservation*, 212, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.031>
- Fundación Neotrópicos & Empresa Multipropósito Urrá S.A. (1997). *PNN Paramillo Actividades Prioritarias*. <https://www.neotropicos.org/Informes/PNNParamillo0997.pdf>
- Galindo, G., O. J, Cabrera, E., Rubiano, J. C., & Vergara, L. K. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia v2*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. https://bart.ideam.gov.co/smbyc/Publicaciones/Protocolo%20de%20PDI%20para%20la%20cuantificacion%20de%20la%20deforestacion%20en%20colombia%20v2_1_.pdf
- García Arévalo, E. A., Erika Adriana, & Buitrago Molina. (2022). *Análisis Multitemporal y de Fragmentación de la Cobertura de Bosque en el Municipio de San Jacinto, Bolívar*. Universidad Antonio Nariño.
- Gomes, V. H. F., Godoy, A. F., Bueno, A. S., & Souza, F. C. (2024). Prioritizing multispecies connectivity outside protected areas using least-cost and multipath approaches. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110035>
- González, J. L., Revilla, E., & Delibes, M. (2021). *Landscape connectivity for the Iberian lynx in a changing environment: Integrating habitat suitability, dispersal, and landscape permeability*. 1, 13.

- Grill, J., Blaschke, A. P., & Wrbka, T. (2016). *Modelling ecological corridors in fragmented landscapes: A GIS and landscape metrics approach. Landscape and Urban Planning*. 165-175.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hernández Sampieri, R., & Fernández-Collado, C. F. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista Lucio, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2018). *Metodología homologada para realizar estudios de fragmentación, motores de fragmentación y conectividad ecológica del paisaje amazónico colombiano, en tres diferentes ámbitos de alcance geográfico: Regional, subregional y local*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. www.sinchi.org.co
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, I. (2018). *Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Manual de interpretación visual de coberturas de la tierra a escala 1:100.000*. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/in-gag-pc07-04_elaboracion_del_mapa_de_cobertura_de_la_tierra_escal_125.000.pdf
- Leija, E. G., Mendoza, M. ; E., Rodríguez-Soto, C. ;, López-Granados, ;, Erna, Salinas-Melgoza, ;, & Vicente. (2023). *Spatial analysis of changes in vegetation cover and structural connectivity of the cloud forest landscape in Western Mexico* (pp. 0-0). *Revista de Geografía Norte Grande*, (86),. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022023000300109&script=sci_arttext

- Lozano, G. D. L., & Sora, O. F. (2020). *Aplicación de métricas de fragmentación para el análisis de la deforestación en el corregimiento de San Basilio de Palenque, Municipio de Mahates, Bolívar*. http://purl.org/coar/resource_type/c_7a1f
- Mendoza, J. E., Gutiérrez, C. S., Gutiérrez, C., Moncaleano, A. M., Franco, O., & Franco, M. L. (s. f.). *Informe 2024 Parques Nacionales—Cómo vamos*. <https://parquescomovamos.com/wp-content/uploads/2024/10/Informe-2024-PNCV-Parques-Nacionales-Como-Vamos.pdf>
- Molina, P. M., & Velasquez, M. (2016). *Actores armados ilegales y parques nacionales naturales (PNN) en Colombia—Una mirada pos acuerdo de paz de la Habana / 2016*. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/29eb32ce-2a9c-46c8-b06d-4ac69a15b9cc/content>
- Morales, D. F., Puyo Castro, M. A., & Doncel Ballen, D. (2024). *Análisis De Fragmentación Y Conectividad Para La Cuenca Baja Del Rio Bitá, Departamento Del Vichada* [Universidad Antonio Nariño.]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/9132>
- Morera-Beita, C., Sandoval-Murillo, L. F., & Alfaro-Alvarado, L. D. (2021). Evaluación de corredores biológicos en Costa Rica: Estructura de paisaje y procesos de conectividad fragmentación. *Revista Geográfica de América Central*, 1(66), 129-155. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.5>
- Morote Seguido, Á. F., & Olcina Cantos, J. (2021). La enseñanza del riesgo de inundación en Bachillerato mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). El ejemplo del PATRICOVA en la Comunidad Valenciana (España). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 41(2), 431-461. <https://doi.org/10.5209/aguc.79344>

- Moyano, A. L., Rusinque-Quintero, L. L., & Montoya-Rojas, G. A. (2021). Análisis de la conectividad de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. *Revista Cartográfica*, 104, 37-61. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.980>
- Nisperuza, C. S. (2022). *La integridad paisajística y las presiones antrópicas de las actividades no permitidas en el Parque Nacional Natural Paramillo – Colombia*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/2bf8c339-9942-469e-b265-abde7e4e3319/content>
- Orosco, L. A. C., & Jumbo, B. A. V. (2024). *Análisis multitemporal de la fragmentación de la cobertura vegetal del cantón Huaquillas, en los periodos comprendidos entre 1999 y 2023*. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6620/1/Cordova%20Orosco%20Lendy%20Aristela%20-%20Villalta%20Jumbo%20Bryan%20Alexander.pdf>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2005). *Parque Nacional Natural Paramillo*.
- Pérez Torres, J., Vidal Pastrana, C., & Racero Casarrubia, J. (2020). *Biodiversidad Asociada a Los Sectores Manso y Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo*. https://www.researchgate.net/publication/305773578_Biodiversidad_asociada_a_los_sectores_Manso_y_Tigre_del_Parque_Nacional_Natural_Paramillo
- Rebolledo-López, D. C. (2022). Análisis de la fragmentación y del efecto de borde del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: Analysis of the fragmentation and edge effect of the Henri Pittier National Park, Venezuela. *Revista Estudios Ambientales - Environmental Studies Journal*, 10(2), 26-47. <https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v2i2.1577>
- Romero, M. J. (2020). *Efecto de la fragmentación del paisaje sobre la diversidad de mamíferos terrestres en la vereda el Diamante, Tierralta—Córdoba*.
- Sancho Rodríguez, J. (2021). *Corredores biológicos de Costa Rica: Estrategia de conservación participativa*.

link.gale.com/apps/doc/A697175213/IFME?u=anon~fad6a6a0&sid=googleScholar&xid=ea788599. Accessed

Solórzano, M. F. (2025). Cambios en la cobertura vegetal de los bosques de la Costa ecuatoriana y sus efectos sobre la conservación de los primates. *Mammalia aequatorialis*, 7(1), 107-112. <https://doi.org/10.59763/mam.aeq.v7i1.103>

Morote, Á. F., Olcina, J. (2021). La enseñanza del riesgo de inundación en Bachillerato mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). El ejemplo del PATRICOVA en la Comunidad Valenciana (España). <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/120291>

Moyano, A. L., Rusinque, L. L., Montoya, G. A. (2022). Análisis de la conectividad ecológica de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. *Revista cartográfica*, (104), 37-61. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2663-39812022000100037&script=sci_arttext

Nisperuza, C. S. (2023). La integridad paisajística y las presiones antrópicas de las actividades no permitidas en el parque nacional natural paramillo–Colombia. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/ucordoba/7295/1/nisperuzavidalcarlos.pdf>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (s.f.). *Parque Nacional Natural Paramillo*. En *Parques Nacionales Naturales*. Recuperado de <https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-paramillo/>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2004). *Plan de manejo del Parque Nacional Natural Paramillo (2004–2011)*. Parques Nacionales Naturales de Colombia. <https://www.parquesnacionales.gov.co/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manejo-pnn-paramillo.pdf>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2015). *Plan de manejo del Parque Nacional Natural Paramillo*. PNN Colombia.

Parques Nacionales Cómo Vamos. (2024). *Informe 2024: Estado de los Parques Nacionales Naturales de Colombia*. <https://parquescomovamos.com/wp-content/uploads/2024/10/Informe-2024-PNCV-Parques-Nacionales-Como-Vamos.pdf>

Pérez-Torres, J., Vidal-Pastrana, C., & Racero-Casarrubia, J. (Eds.). (2016). *Biodiversidad asociada a los sectores Manso y Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo*. Parques Nacionales Naturales de Colombia; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Pérez, A. T., Gutiérrez, J. A. (2022). Análisis de fragmentación del bosque seco tropical de la Baja Guajira. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/6628>

Ramos, R. A. (2022). Análisis espacial de coberturas vegetales presentes en comunidades indígenas ubicadas en el municipio de Uribí, departamento de la Guajira, Colombia. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/5904>

Rebolledo, D. C. (2022). Análisis de la fragmentación y del efecto de borde del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: Analysis of the fragmentation and edge effect of the Henri Pittier National Park, Venezuela. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 10(2), 26-47. <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/download/1577/1380>

Rodríguez, J. S. (2021). Corredores biológicos de Costa Rica: estrategia de conservación participativa. *Ambientico*, (280), 14-18. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA697175213&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=1409214X&p=IFME&sw=w>

Romero, M. J. (2020). Efecto de la fragmentación del paisaje sobre la diversidad de mamíferos terrestres en la vereda El Diamante, Tierralta-Córdoba.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3537?locale-attribute=es>

Secretaría del senado. (1991). Constitución política de Colombia. Art. 79.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991_pr002.html

Solórzano, M. F. (2024). *Cambios en la cobertura vegetal de los bosques de la costa ecuatoriana y sus efectos sobre la conservación de los primates* (Master's thesis, Quito, EC: Universidad

Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/10122>

Wilson, M. C., Chen, X. Y., Corlett, R. T., Didham, R. K., Ding, P., Holt, R. D., Holyoak, M., Hu,

G., Jiang, L., Laurance, W. F., Liu, J., Pimm, S. L., Robinson, S. K., Russo, S. E., Si, X.,

Wilcove, D. S., Wu, J., & Yu, M. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity

conservation: Key findings and future challenges. *Biological Conservation*, 196, 9–18.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.014>

Corporation for Digital Scholarship. (2024). *Zotero* (Versión 6.0) [Software].

<https://www.zotero.org/>