



Análisis de fragmentación y conectividad del bosque seco en la Reserva Forestal Coraza (Sucre- Colombia): bases para la reforestación.

Leydis Johanna Gutiérrez Acosta

Stevens García Martínez

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

Director: Jorge David Mercado Gómez Doctor (PhD) en Ecología

Codirector: Mauricio Arturo Juárez Fragosó Magíster (MSc) en Ecología Tropical

Asesores de recursos académicos: María Eugenia Nieto Medina (asesora bibliográfica)

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita	(Gutiérrez Acosta & García Martínez, 2025)
Referencia	Gutiérrez Acosta & García Martínez, (2025). <i>Análisis de fragmentación y conectividad del bosque seco en la reserva forestal Coraza (Sucre-Colombia): bases para la reforestación</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.

Estilo APA 7 (2020)



Declaración de inteligencia artificial: los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [ChatGPT, 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.

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

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

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

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

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

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

Dedicatoria

Stevens:

Dedico este trabajo de grado a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, quien con su gracia me sostuvo y me guió aun en los momentos más grises. A mi madre, cuyo amor y entrega permanecen como la herencia más valiosa que impulsa cada uno de mis logros; y a mis abuelos, pilares de bondad y sabiduría, que aunque ya no están, dejaron huellas imborrables en mi vida y me enseñaron el valor del esfuerzo, la gratitud y la dignidad. Cada página de esta tesis está impregnada de su recuerdo, de sus sueños que hoy se concretan en mí y de la certeza de que su presencia espiritual me acompaña.

Leydis:

Dedico este gran logro a Dios, cuya es toda la gloria. A mi familia por todo su amor y todo su apoyo en cada proyecto que emprendo y cada meta que logro. A mi pareja por su apoyo incondicional. Las posibilidades son infinitas, cuando colocamos todo en las manos de Dios.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a la **Universidad de Manizales**, institución que nos brindó el espacio, la formación académica y los recursos necesarios para el desarrollo de este estudio. De manera especial, extendemos nuestra gratitud al **director Jorge Mercado**, por su guía, compromiso y acompañamiento constante, y al **codirector Mauricio Juárez**, por su valiosa orientación, paciencia y aportes que enriquecieron significativamente este proceso ¡Gracias a todos!

Resumen

La problemática de la transformación del suelo y el impacto antrópico en los bosques secos de Colombia es crítica y preocupante. La expansión de la frontera agrícola, la ganadería extensiva, la tala de bosques (para la obtención de madera) y la urbanización descontrolada son algunos de los disturbios que han contribuido significativamente a la deforestación y pérdida de hábitat en estos ecosistemas tan importantes. La región del Caribe colombiano alberga la mayor extensión de bosque seco tropical en el país, lo que la convierte en un área de gran relevancia en términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Además de la degradación antrópica del paisaje, estos bosques han recibido menos atención tanto en términos científicos como de conservación, con escasos estudios que han abordado su ecología. Bajo este entorno peculiar, este estudio se centra en analizar la fragmentación estructural del paisaje y las rutas de conectividad en los bosques secos, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, se adopta un enfoque metodológico mixto que incorpora análisis cualitativos y cuantitativos, basado en técnicas espaciales para detectar patrones de cambio en la cobertura y uso del suelo. El objetivo de este estudio es ofrecer una mejor comprensión de las posibles conexiones ecológicas y de la estructura del paisaje. Además, se busca generar información que facilite un manejo integral, orientado a la conservación, restauración y reforestación del bosque seco tropical en la reserva forestal Coraza y la región.

Palabras clave: Deforestación, fragmentación, restauración, Montes de María

Abstract

The problem of soil transformation and anthropic impact on dry forests in Colombia is critical and alarming. The expansion of the agricultural frontier, extensive livestock farming, logging and uncontrolled urbanization are some of the disturbances that have contributed significantly to deforestation and habitat loss in these important ecosystems. The Colombian Caribbean region hosts the largest expanse of tropical dry forest in the country, making it an area of great relevance in terms of biodiversity and ecosystem services. In addition to anthropic landscape degradation, these forests have received less attention in both scientific and conservation terms, with few studies addressing their ecology. Under this peculiar environment, this study proposes to analyze the structural fragmentation of the landscape and connectivity routes, characterizing the spatial dynamics of different land and vegetation uses, making use of Geographic Information Systems (GIS). To this end, a mixed methodological approach is adopted that incorporates qualitative and quantitative analyses, based on spatial techniques to detect patterns of change in land cover and use. This study is expected to provide knowledge about possible ecological connections, understand the landscape configuration and generate information for a comprehensive management that allows to conserve, restore and reforest the tropical dry forest of the Coraza forest reserve and the region.

Keywords: Deforestation, fragmentation, Restoration, Montes de María

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.....	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA	9
1.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	10
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.4 JUSTIFICACIÓN	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. HIPÓTESIS.....	16
3.1 HIPÓTESIS NULA	16
3.1.1 <i>Hipótesis alterna</i>	16
3.1.2 <i>Variables</i>	16
4. ANTECEDENTES	17
5. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	23
6. REFERENCIA TEÓRICA	24
7. METODOLOGÍA.....	27
7.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	27
7.2 TIPO DE ESTUDIO.....	28
7.3 PROCEDIMIENTO	28
<i>Fase 1. Caracterización de coberturas de la tierra mediante clasificación supervisada</i>	28
8. RESULTADOS	33
9. DISCUSIÓN	41
10. CONCLUSIONES	44
11. RECOMENDACIONES	45
12. REFERENCIAS.....	47

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1	10
Figura 2.....	27
Figura 3	31
Figura 4.....	34
Figura 5.....	36
Figura 6.....	40

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.....	23
Tabla 2.....	35
Tabla 3.....	38
Tabla 4.....	39

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

Entre los ecosistemas boscosos tropicales del mundo, uno de los más destacados es el bosque seco tropical (Bs-T), con una cobertura que abarca aproximadamente el 42% a nivel mundial y un 67% en el neotrópico (Pizano & García, 2014). Sin embargo, es preocupante observar que estos porcentajes han experimentado una disminución en las últimas décadas. Según el reporte del IDEAM (2020), en Colombia se identificaron 171,685 hectáreas (ha) afectadas por diversas causas de deforestación, de las cuales 12,896 ha (equivalentes al 7.5% de la pérdida total de cobertura boscosa) se encuentran en la región del Caribe colombiano. Esta afectación representa una pérdida del 57% de la extensión original de Bs-T en la zona, estimándose que solo se conserva un 7% de su extensión original (Pizano & García, 2014). Parte de esta extensión en peligro se localiza en la reserva forestal Coraza, situada en los Montes de María en Sucre. Lamentablemente, la reserva enfrenta desafíos de deforestación y cambios de los patrones espaciales (transformación del paisaje) (Galván-Guevara et al., 2015; García & Mercado, 2017), debido principalmente a la expansión de actividades agropecuarias como resultado del retorno de la población que sufrió los efectos del conflicto armado (IDEAM, 2023).

La modificación del paisaje, hace de los bosques secos pequeñas áreas aisladas, lo que provoca un aumento significativo en la alteración de la configuración del hábitat, la pérdida de superficie forestal y conectividad (FAO & PNUMA, 2020), que amplifica la desaparición de la flora, fauna y hasta los recursos naturales, especialmente agua (Cabezas, 2020; Evangelista et al., 2010; Morales & Sarmiento, 2008).

Además de los procesos de transformación antrópica, otra problemática de suma importancia es la falta estudios y aporte al conocimiento de la ecología del paisaje y por tanto en el caso de la reserva forestal Coraza, la conectividad ecológica y fragmentación ha sido poco evaluada. Dada la problemática, se plantea la necesidad de generar información sobre la ecología del paisaje de un área ecológica tan importante como lo es Coraza. En este estudio se busca analizar la fragmentación y conectividad del bosque seco en la Reserva forestal Coraza, a fin de proveer conocimiento sobre las posibles vías de conexión, entender la estructura del paisaje y generar información que favorezca la gestión integral para la conservación, restauración y

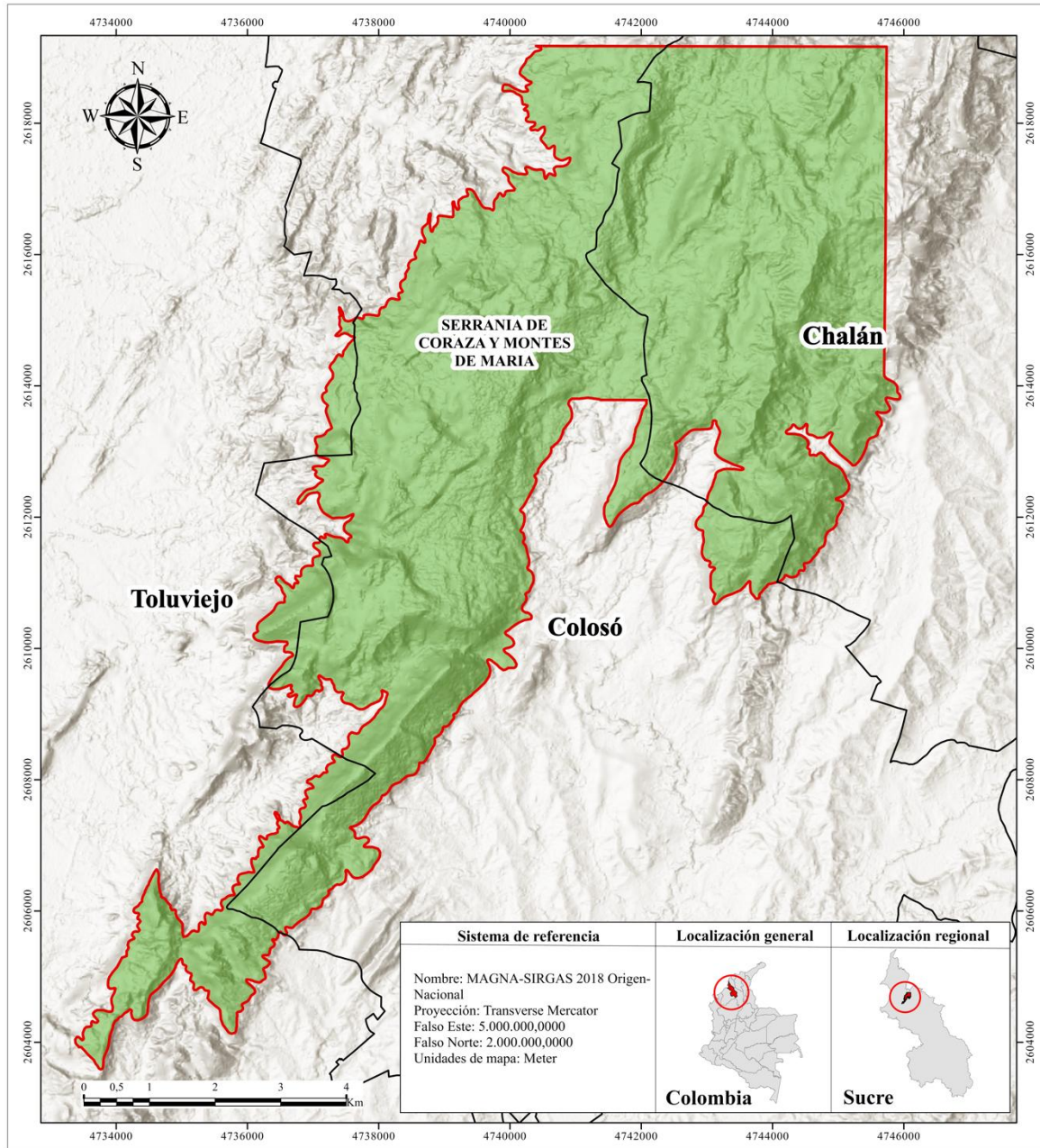
reforestación, siendo una tarea urgente y necesaria para la recuperación ecosistémica del bosque seco tropical en el Caribe colombiano.

1.2 Area de estudio

La Reserva Forestal Protectora Serranía de Coraza y Montes de María (en adelante Reserva Forestal Coraza) (Figura 1), fue creada por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente – INDERENE, mediante el Acuerdo 028 de Julio 6 de 1983 y avalada por el Ministerio de Agricultura a través de la Resolución 204 del 24 de Octubre de 1983, su administración se encuentra a cargo de la Corporación Autónoma Regional de Sucre – CARSUCRE. Se ubica en la parte suroccidental de la Serranía de San Jacinto de jurisdicción de los Municipios de Colosó, Chalán y Toluviejo, Departamento de Sucre en la región caribe (MADS, 2016).

Figura 1.

Localización geográfica de la reserva forestal Coraza (Sucre-Colombia).



Esta designación como "Reserva Forestal Protectora" subraya su importancia ecológica y la necesidad de conservar sus recursos naturales. Su paisaje se distingue por su marcada heterogeneidad orográfica, constituyendo un complejo sistema de colinas y montañas que forman parte integral de la Serranía de San Jacinto o Montes de María con elevaciones en esta región oscilan entre los 0 y los 1.000 msnm lo que genera una diversidad de microclimas y hábitats en un área total de 6.691 ha (Aguilera, 2005, Aguilera, 2013). Geológicamente, los suelos de la reserva

son de particular interés, derivados de mantos arcillosos, arenosos y calizas del Mioceno (Halffter, 1992). Esta composición edáfica influye directamente en las características de la vegetación y en los procesos hidrológicos del área, contribuyendo a la singularidad ecológica de la reserva.

Desde el punto de vista ecológico, la reserva se encuentra situada en la zona de vida de bosque seco tropical (Bs-T) según la clasificación propuesta por Holdridge (1967) y respaldada por estudios posteriores en ecosistemas colombianos (Pizano & García, 2014). El clima en esta región se caracteriza por un régimen bimodal, con dos estaciones húmedas y dos secas bien definidas a lo largo del año. Las temperaturas promedio oscilan entre los 25,5 °C y los 28,7 °C; la precipitación anual varía entre los 896 mm y los 1.233 mm; y la humedad relativa media anual es del 83,5 % (Aguilera, 2005; Galván et al., 2009). Hidrológicamente, el área forma parte de la cuenca del Golfo de Morrosquillo, donde se desarrollan arroyos, quebradas y cuerpos de agua de carácter temporal, dependientes de los periodos de lluvia (Aguilera, 2013).

No obstante, la integridad ecológica de la reserva se ve amenazada por presiones antrópicas significativas en las áreas aledañas. La ganadería y la agricultura extensiva han generado zonas perturbadas que impactan negativamente la continuidad de los ecosistemas boscosos (García et al., 2016, Promontes, 2003). Estas prácticas inducen a la pérdida de la conectividad de los relictos o fragmentos de bosques con bajo grado de intervención que aún persisten dentro de la reserva. Esta situación ha generado una presión significativa sobre los ecosistemas locales, afectando negativamente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, y fue una de las razones fundamentales que motivaron la declaratoria de esta área como Reserva Forestal Protector. La persistencia de estos fragmentos de bosque poco intervenidos es vital para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la región.

1.3 Formulación del problema

La pérdida de ecosistemas naturales en Colombia, como el Bs-T, evidencia un deterioro ambiental preocupante (Ramírez & Rodríguez, 2019). A pesar de su relevancia, este bioma enfrenta presiones y alteraciones que causan su debilitamiento e incluso su desaparición (Cerrato et al., 2017). Desde la óptica de la conservación, el Bs-T se encuentran entre los más amenazados en el neotrópico y América del Sur, siendo gravemente afectados por la deforestación en nuestro país (Pizano & García, 2014; Yepes & Villa, 2010).

En el caso de la Reserva Forestal Coraza, el Bs-T posee tasas de deforestación preocupantes y el uso insostenible de la tierra ha causado problemas ambientales que requieren atención urgente (Aguilera, 2005; Cerrato et al., 2017; Galván-Guevara et al., 2015; García & Mercado, 2017). Desde la perspectiva de la ecología del paisaje, es posible adquirir información acerca de la deforestación y fragmentación en la reserva, lo cual facilitaría la comprensión de los patrones espaciales y su conectividad basada en función de las coberturas vegetales presentes.

Dentro de este contexto, para poder generar un nuevo conocimiento específico sobre la dinámica espacial y conectividad ecológica del Bs-T en la reserva, es crucial abordar inicialmente la siguiente pregunta: ¿Cuál es el nivel de conectividad estructural y de fragmentación del Bs-T en la Reserva Forestal Coraza?

1.4 Justificación

Esta investigación en la reserva forestal Coraza, es motivada por su alto valor ecosistémico de sus bosques secos para el departamento de Sucre y el país. Esta zona a pesar de ser sometida a procesos de deforestación, alberga una gran biodiversidad y es fuente de abastecimiento hídrico y otros bienes y servicios ambientales para los municipios de Toluviejo, Colosó, Ovejas, Chalán, Morroa y San Onofre (Aguilera, 2013).

Es importante destacar que el interés en la recuperación y la detención de la deforestación de los ecosistemas mediante estrategias de restauración ecológica está en constante crecimiento (Alonso, 2014; González et al., 2016), para lo cual, se hace necesario entender la ecológica del paisaje para identificar y proponer áreas a restaurar ecológicamente, siendo una herramienta que permite optimizar esfuerzos de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Chávez, 2014). Por tanto, es una meta fundamental preservar y promover la conectividad ecológica en la planificación territorial sostenible y de la conservación de la biodiversidad.

Entre las herramientas SIG, la percepción remota o teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental en el suministro de información sobre el cambio de hábitat, la degradación y fragmentación de los ecosistemas (Sánchez-Díaz, 2018). A pesar de sus beneficios, identificar áreas que requieran esfuerzos de conservación y reforestación sigue siendo un desafío por la falta de información sobre la ecología del paisaje de un área, en particular la Reserva forestal Coraza.

Basándonos en lo mencionado anteriormente, es necesario investigar la conectividad ecológica y la fragmentación de los bosques en las zonas naturales del país, con el fin brindar información actualizada que pueda apoyar futuros programas de conservación ambiental (corredores ecológicos), como una estrategia que facilite la interconectividad entre relictos y fragmentos de bosque seco, proporcionando información clave para a la gestión integral de la reserva y el departamento.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar la fragmentación y la conectividad ecológica del bosque seco tropical en la Reserva Forestal Protectora Coraza (Sucre, Colombia) estableciendo bases necesarias que orienten estrategias de reforestación y restauración del ecosistema.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las diferentes coberturas de la tierra a través de descriptores a nivel del paisaje en la Reserva Forestal Coraza.
- Evaluar la conectividad y el grado de fragmentación de paisaje en la Reserva Forestal Coraza
- Establecer rutas de conectividad ecológica estructural del bosque seco en función de las áreas núcleo ubicadas en la Reserva.

3. Hipótesis

Teniendo presente la problemática detallada en los ítems anteriores en relación a la transformación del suelo y el impacto antrópico en los bosques secos de Colombia principalmente la fragmentación del Bs-T en la Reserva Forestal Coraza, se plantea las siguientes hipótesis.

3.1 Hipótesis nula

En la Reserva Forestal Coraza no es posible determinar el grado de fragmentación de bosque seco tropical ya que los datos existentes no son suficientes, imposibilitando la generación de posibles rutas de conectividad.

3.1.1 Hipótesis alterna

El Bs-T en la Reserva Forestal Coraza presenta un grado significativo de fragmentación que se relaciona con las actividades agropecuarias presentes en la zona, ha reducido significativamente la conectividad ecológica entre los fragmentos boscosos. En dicha reserva se presentan sectores del paisaje que pueden priorizarse para la reforestación y restauración ecológica.

3.1.2 Variables

1. Grado de fragmentación del Bs-T en la Reserva Forestal Coraza. Estableciendo los porcentajes de: Núcleo, Interior, Indeterminado, Perforado, Borde, Transición, Parche, y Ninguno (áreas con presencia de claros internos o celdas que no se asocian directamente con parches boscosos).
2. Rutas de conectividad forestal identificadas.

4. Antecedentes

En nuestra nación, se han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre la estructura espacial del paisaje y su importancia para identificar zonas potenciales para la restauración ecológica de ecosistemas fundamentales y la preservación de la diversidad biológica. A pesar de ello, los trabajos que han abordado la fragmentación y la conectividad estructural del paisaje, en particular en lo que respecta a los bosques secos, son escasos (Cabezas, 2020). En Colombia el Bs-T está entre los tres ecosistemas más degradados, fragmentados y menos conocidos (Quiroga et al. 2019)

Sin embargo, a modo mas general se han presentado en el territorio colombiano, estudios e investigaciones en relaciona a los temas de bosques, fragmentación y conectividad. Destacando la importancia de la cobertura boscosa para proporcionar habitats. La fragmentación de bosques incide en la riqueza de especies y la diversidad funcional, Meza-Joya et al. (2020) plantea que los mamíferos en fragmentos boscosos rodeados por otras coberturas boscosas soportan un diversidad mas alta y un espectro mas amplio en funciones ecológicas.

En la región del Caribe colombiano, se han realizado análisis de la conectividad, lo que ha permitido identificar niveles de fragmentación y deforestación en diferentes departamentos. Entre estos estudios, sobresalen los realizados por Cabezas (2020), Alvarado (2018), López (2017), Molina & Helo (2017) Alarcón (2017), Cerrato et al. (2017) y Galván-Guevara et al. (2015) y la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible - FCDS (2013). Estas investigaciones aportan información valiosa para la planificación y gestión de áreas que requieren ser protegidas, así como para el diseño de estrategias de conservación que aborden los desafíos de la fragmentación del paisaje.

Cabezas (2020c), caracterizó la fragmentación estructural del paisaje empleando métricas no espaciales y espaciales en el departamento del Cesar, identificando rutas de conectividad estructural más cortas (baja restricción) para el desplazamiento de organismos, concretamente entre parches de áreas boscosas y seminaturales. Alvarado (2018), utilizó una matriz multicriterio tipo Score y la herramienta Conefor 2.6 para identificar un área clave para la conectividad. Proponiendo así, estrategias que involucran al sector productivo y a la comunidad para la recuperación del hábitat del primate, para cumplir con los objetivos de conservación de la biodiversidad a largo plazo.

El estudio de Alarcón (2017) analizó la fragmentación y la conectividad ecológica en el entorno del Rio Cravo, Sur en el departamento de Yopal, utilizando imágenes satelitales y software geoespacial. Este investigador analizó diferentes coberturas vegetales validadas en campo, y evaluó la fragmentación y conectividad, delineando corredores ecológicos. Como resultado principal, entre 2000, 2010 y 2016, observó cambios en las coberturas del suelo, como la disminución de pastizales y el aumento de áreas urbanas. Sumado a esto, identificó rutas de conectividad entre fragmentos de bosque y sugirió aumentar las áreas con bosques naturales y mejorar la conectividad de los corredores biológicos.

Marín Valencia et al. (2008), estudiaron variables estructurales del paisaje en el norte de la Cordillera Occidental de los Andes con presencia de vegetación natural, pastos y cultivos. Incorporando herramientas de teledetección y análisis de imágenes satelitales, realizando una clasificación supervisada con ocho categorías: Bosque Nativo, Café sin sombra, Café con sombra, Rastrojos, Pastos, Nubes, Sombras de Nube e Infraestructura. El patrón del paisaje fue caracterizado en términos de su composición, configuración y forma de los elementos de este, el grado de conectividad estructural de los fragmentos de bosque con base en métricas del paisaje utilizados para evaluar la fragmentación. Presenado el paisaje en esta zona alta heterogeneidad debido al número de parches.

Anzoategu et al. (2023), utilizaron al igual que los autores anteriores imágenes satelitales para determinar los principales cambios de las coberturas vegetales (periodos 1986 - 2000 - 2016) reflejando bordes a manera de frontera agrícola, en la zona de páramo del Parque Regional Natural Cortadera (municipio de Siachoque, Colombia). Identificaron coberturas vegetales a partir de la metodología CORINE Land Cover, a escala 1:100.000, con el procesamiento de imágenes satelitales Landsat. Concluyendo que los cambios en la distribución porcentual de coberturas vegetales son generados por ampliación de la frontera agrícola, a pesar de la declaratoria en 2015 como área protegida.

A modo de investigación Henao et al. (2018) evaluó el efecto de borde sobre la estructura, diversidad y potencial de regeneración de plantas leñosas en dos fragmentos de bosque seco. Registró un proceso activo de regeneración natural, sin embargo, no encontró un efecto de borde sobre las variables estudiadas para ambos fragmentos. La ausencia de efecto de borde se asocio al tiempo transcurrido desde la formación del fragmento. Observando que las matrices de estos

fragmentos constituyeron una barrera para su expansión y conectividad, y para superarla se hace necesaria la implementación de estrategias que favorezcan la dispersión de semillas hacia el exterior y, se optimicen las condiciones para la germinación y el establecimiento de los nuevos propágulos.

La limitación en conectividad presente en los bosques crea un escenario de desequilibrio en los ecosistemas. Cuando la distancia entre fragmentos es mayor a la distancia en la que las especies pueden atravesar un paisaje transformado se reducen procesos ecológicos, impidiendo que las especies puedan complementar o suplir los recursos necesarios con los presentes en otros fragmentos para su supervivencia (Jimenez et al., 2021).

López (2017), evaluó la conectividad estructural entre fragmentos arbolados, empleando una capa de coberturas de la tierra del Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM) y para la conectividad y la fragmentación de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), basados en métricas de ecología del paisaje y el uso de herramientas SIG. El estudio identificó áreas de bosques densos, arbustales y vegetación secundaria, y examinó condiciones climáticas. Asimismo, se llevó a cabo un análisis detallados de fragmentación utilizando SAGA GIS e identificaron áreas de menor costo de conectividad entre fragmentos arbóreos con la herramienta Cost Path de ArcGIS.

Por otra parte, Cerrato et al. (2017) analizó cambios en la cobertura vegetal en La Guajira durante 19 años mediante imágenes Landsat, identificando siete tipos de vegetación predominantes. Esta investigación identificó un aumento del 24,10% en pastizales arbolados y estabilidad en la cobertura de ríos. El análisis de la fragmentación, mostró, que el 46,67% de los cuadrantes presentaban fragmentación fuerte y el 26,67% extremadamente alta, con un índice promedio clasificado como fuerte (8,86%). Sumado a esto, el estudio multitemporal permitió identificar cambios en la cobertura, proponiendo medidas de conservación y dos corredores biológicos para restaurar áreas degradadas y conservar las menos afectadas.

En un contexto más regional, el estudio realizado por la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS, 2013), es uno de los aportes más importante en cuanto a la conectividad estructural y configuración del paisaje del Bs-T en cuatro regiones del Caribe colombiano: Atlántico (Bolívar), Montes de María (Sucre), Río Gaira (Magdalena), Paladines (La

Guajira) y Río Seco (Cesar), concluyendo que las áreas de bosque y zonas seminaturales representan una proporción baja dentro del paisaje estudiado, principalmente debido a la extensa presencia de coberturas antrópicas, provocando una matriz con numerosos fragmentos con tamaño reducido.

También, cabe mencionar el estudio realizado por Galván-Guevara et al, (2015), quienes describieron la fragmentación del bosque seco tropical relictual en el arroyo Pechelín, localizado en los Montes de María. Sus resultados mostraron niveles elevados de fragmentación, indicados por un índice de fragmentación ($F= 0,355$), que clasifica el área boscosa como altamente fragmentada, logrando concluir que la configuración del paisaje en la región estudiada no favorece la preservación del bosque remanente, debido a la predominancia de actividades agropecuarias.

En el ámbito internacional, Juárez-Fragoso et al. (2023), Correa et al. (2014), Evangelista et al. (2010), León-Alfaro (2019), Navarro et al. (2022), Brazuelo (2020) y Rodríguez and Ticay (2021), realizan aportes significativos a la ecología del paisaje al analizar la conectividad y fragmentación de áreas boscosas, brindando datos esenciales para la toma de decisiones en la planificación del uso del suelo y a la evaluación de los impactos ambientales en áreas destinadas a restauración y conservación.

Arriaga Velasco-Aceves et al. (2021), en su investigación en la provincia de Formosa, ubicada al norte de Argentina, utilizaron imágenes Landsat para mapear el cambio de uso del suelo y calcular la pérdida de cobertura y su tasa, considerando la zonificación y la clasificación fisonómica según normatividad argentina. Evaluaron la fragmentación forestal en términos de la configuración espacial de la pérdida forestal, clasificada como perforación o contracción, generación de bordes forestales, distribución del tamaño de las parcelas y aislamiento de las parcelas. Donde el bosque presentó las tasas de pérdida de cobertura más altas. El caso de Formosa podría ser útil en el diseño de futuras políticas de gestión sostenible de los recursos naturales y resalta la importancia de la planificación temprana de los recursos naturales

Igualmente destacan Amarnath et al. (2017) quienes realizaron estudios sobre el uso del producto de porcentaje de cobertura arbórea en espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada – campo continuo de vegetación (MODIS-VCF) para identificar cambios críticos y evaluarlos mediante información de teledetección multiescala evaluando el cambio de la cobertura

forestal y la tasa de fragmentación en la India. Utilizando el inventario terrestre de vegetación y detalles de la cobertura terrestre, la imagen satelital usada por los autores la clasificaron con la técnica de clasificación supervisada.

Xu et al. (2025) en su investigación desarrollada en la Ciudad de Shaoguan, Sur de China. Se centra en la estimación de la densidad de masas forestales en terrenos complejos. Señala el papel esencial de la tecnología de teledetección en la gestión forestal moderna, indicando que los datos de Sentinel-2 y las técnicas de corrección del terreno redujeron eficazmente las fluctuaciones del índice de variación del volumen inducidas por la pendiente, lo que resalta el impacto de los factores del terreno en las estimaciones de teledetección. Laudecina et al (2026) destacaron en la investigación ejecutada que las imágenes de Sentinel-2 y los algoritmos de clasificación permitieron un mapeo preciso de la distribución espacial, proporcionando herramientas escalables para estrategias adaptativas que equilibran la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible en los paisajes.

Ranglong et al. (2025) en la investigación recalcan el uso de Sentinel-2 para garantizar la veracidad de la información recolectada, al igual que los autores anteriores. Indicando que la información espectral Sentinel-2 ayuda a mitigar los problemas de saturación espectral en bosques densos y proporciona firmas espectrales forestales más detalladas, y permite el cálculo de diversos índices de vegetación.

El uso de la teledetección tiene un papel muy importante, como lo destacan Valjarević et al. (2025) en su investigación en La República de Moldavia. Destacando la importancia crucial de integrar los SIG, la teledetección y las herramientas digitales modernas para analizar y optimizar el uso del suelo, en particular para bosques y cultivos. Plantean que al utilizar datos actualizados sobre el clima y la propiedad de la tierra, Moldavia tiene la oportunidad de preservar sus tierras agrícolas y forestales de forma más eficaz y establecer una política integral y sostenible de uso de la tierra. Los vehículos aéreos no tripulados brinda mayor precisión en los datos como lo indican Estrada Zúñiga et al. (2022) en su estudio realizado en Perú, recopilando fotografías multiespectrales con microsensores.

Rodríguez-Echeverry et al. (2021) realizaron un estudio en Ecuador para evaluar los cambios espacio-temporales de los ecosistemas boscosos nativos y la influencia de estos cambios en la

diversidad de hábitats en la cuenca del Río Mira, entre 1991 y 2017. Usando imágenes satelitales y métricas de paisaje, observaron que las mayores pérdidas de cobertura boscosa estuvieron asociadas con los mayores incrementos en el número de parches y con las mayores pérdidas de sus áreas núcleo durante los 26 años de estudio. Analizando que el incremento en el número de parches fue uno de los principales síntomas de la fragmentación.

Como estos, ya son varios los estudios que permiten conocer la dinámica de la ecología del paisaje de áreas que han sido destinadas para restauración y conservación a nivel nacional e internacional. Sin embargo, la poca información y la falta de investigaciones académicas-científicas en los ecosistemas a un persiste, por lo tanto, se requiere de más estudios que brinden información sobre áreas con altos grados de restauración, ubicación de corredores biológicos y la planificación del paisaje para mejorar la conectividad del hábitat y promover la recuperación de ecosistémica del bosque seco.

5. Referente normativo y legal

En el ámbito normativo y legal, nuestro país cuenta con una amplia variedad de normativas, decretos y leyes de alta calidad cuyo objetivo principal es sentar las bases para promover el desarrollo integral de las personas y el ambiente. Por lo tanto, a continuación se presenta un conjunto de instrumentos legislativos enfocados en el ámbito ambiental y relacionados con el área de estudio.

Tabla 1.

Marco legal

Tipo de legislación	Descripción
Decreto ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)
Acuerdo N° 028 de 06 de Julio de 1983 INDERENA- Resolución 0204 del 24 de Octubre de 1983 MinAgricultura	Creación de Reserva Forestal Protectora de la Serranía de Coraza y Montes De María.
Decreto 1600 de 1994 Expedido por la Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE	Reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental (SINA) en relación con los sistemas nacionales de investigación ambiental y de información ambiental.
Decreto 1640 de 2012 Expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenibles (las CAR) y a las Comisiones Conjuntas (en cuencas compartidas) la responsabilidad de elaborar «Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas-POMCA», con el fin principal de atender necesidades de prevención, protección, restauración y conservación de los recursos naturales, especialmente del recurso hídrico en el espacio comprendido por una cuenca hidrográfica (Presidencia de la República, 2012).
Decreto 1257 de 2017	Por el cual se crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales.

6. Referencia teórica

Los recursos naturales a nivel mundial están siendo afectados principalmente por actividades antropicas. Su protección y conservación es de vital importancia para garantizar la vida en el planeta. Las reservas forestales que han sido declaradas por las entidades territoriales en Colombia son de suma importancia para la protección de los recursos naturales. Los diferentes estudios e investigaciones a lo largo de años en los diferentes territorios brindan herramientas para crear rutas de acciones en pro de su conservación.

En ese sentido, es esencial comprender las relaciones ecológicas dentro de un paisaje para priorizar zonas que deben ser objeto de esfuerzos de conservación y reforestación, como también áreas que representen un espacio de conexión importante como una estrategia que facilite la conectividad entre fragmentos (Alarcón, 2017). La ecología del paisaje es el estudio de cómo interactúan los ecosistemas entre sí y con el medio ambiente, analizando y enfatizando las interacciones entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos (Alonso, 2014; Cabezas, 2020; León-Alfaro, 2019).

La restauración es importante para la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la provisión de servicios ecosistémico y puede ser llevada a cabo por diferentes actores, como gobiernos, organizaciones no gubernamentales, comunidades locales y empresas (Méndez-Toribio & Gómez-Ruíz, 2022). La restauración ecológica es una práctica que busca recuperar ecosistemas degradados, dañados o destruidos a su estado original o a un estado funcionalmente equivalente (Méndez-Toribio & Gómez-Ruíz, 2022). Dicho proceso implica la reintroducción de especies nativas, la recuperación de la estructura y función del ecosistema, y la calidad del suelo y del agua (Tamayo-Quintana & Torres-Romeroa, 2022).

Es necesario evaluar el estado de transformación de un paisaje boscoso para poder realizar una adecuada planificación de su conservación y restauración. El cambio de uso del suelo ha sido identificado como el principal factor de cambio global. Este conductor puede llevar a la pérdida y fragmentación de hábitats. Estos cambios modifican los patrones espaciales del paisaje boscoso, tales como: el área total, el número de parches, conectividad y la riqueza de parches. Los impactos pueden ser asociados al aumento de la población humana, que ha transformado paisajes boscosos en paisajes antrópicos en las últimas décadas (Rodríguez-Echeverry et al., 2021).

La fragmentación es definida como el proceso de transformación de un hábitat natural en parches de menor área, aislados entre sí e inmersos en matrices de menor cobertura vegetal. Los parches resultantes quedan expuestos a las condiciones del ambiente exterior o efectos de borde, que pueden ocasionar cambios en la estructura y regeneración de las comunidades vegetales (Henaó et al., 2018). La fragmentación del bosque puede tener efectos negativos en la biodiversidad, la calidad del suelo y del agua, y la capacidad del bosque para proporcionar servicios ecosistémicos (Alarcón, 2017). Dicha fragmentación del bosque puede ser evaluada mediante el análisis de la estructura del paisaje y la identificación de elementos y características que facilitan o dificultan la conectividad entre los fragmentos de bosque (Alarcón, 2017; León-Alfaro, 2019).

La fragmentación progresiva y dinámica del uso del suelo en las áreas naturales por el aumento de las tierras dedicadas a la agricultura, implica una reducción del área de los fragmentos y una pérdida de la complejidad estructural del paisaje. La agricultura genera un impacto directo sobre el paisaje y los procesos ecológicos. El estudio de la conectividad estructural y la caracterización del patrón del paisaje, en estas áreas con gran presión antrópica, permite describir el continuo natural del mismo y denotar las uniones entre hábitats, especies, comunidades y procesos ecológicos. Mediante el análisis de la estructura espacial de estos paisaje en aspectos como la forma, la composición y la configuración del conjunto de parches, podría estimarse la cantidad y la intensidad de las intervenciones antrópicas (Marín Valencia et al., 2008).

La conectividad del paisaje es importante para la conservación de la biodiversidad y la restauración de ecosistemas, ya que permite la dispersión de especies, la colonización de nuevos hábitats y la recuperación de áreas degradadas (Brazuelo, 2020). Se podría definir la conectividad del paisaje como el grado en que el territorio facilita o dificulta el movimiento de las especies entre diferentes parches y recursos de hábitat y la continuidad de procesos ecológicos (Lacadena, 2019).

El uso de las herramientas SIG con el pasar de los años ha tomado un gran impacto en el área de la investigación por sus grandes aportes y aciertos en la recolección de datos, acceso a la información, análisis de fenómenos, entre otros puntos importantes. En gran medida por el uso de la teledetección, como lo respalda Campo et al. (2024), al realizar una revisión sistemática de los datos de sensores remotos para evaluar atributos de los boques secos (Bs) por medio de una búsqueda sistemática de artículos de investigación originales que utilizaron datos de sensores remotos como indicadores ecológicos de los atributos de los Bs. Campo et al. (2024), plantean que

la creciente disponibilidad de datos sobre los ecosistemas de zonas áridas es posible gracias al desarrollo de las técnicas de teledetección en la década de 1970. Los datos de teledetección constituyen una herramienta poderosa para evaluar las condiciones actuales y retrospectivas de un ecosistema, ya que permiten cuantificar y clasificar atributos de composición, estructura y función en diferentes niveles jerárquicos.

Pozzobon & Osorio (2002), define la percepción remota como la herramienta que permite extraer información de objetos, características y/ o detalles de la superficie terrestre de manera estereoscópica con fotografías aéreas o a simple vista con imágenes analógicas. Las imágenes obtenidas mediante percepción remota y procesadas con tecnología de SIG son una herramienta fundamental en las investigaciones sobre fragmentación del paisaje, ya que posibilitan la integración y análisis de la diversidad espacial de forma digital y de manera cuantificable (Rodríguez & Ticay, 2021).

En relación al uso de sistemas de información geográfica para análisis multitemporales e identificación de cambios en coberturas vegetales en áreas, diversos autores coinciden en la utilidad de dichas herramientas para identificación de los cambios espaciotemporales de las coberturas, encontrándose que aquellas coberturas que en su límite están más cercanas a zonas de mosaicos y cultivos, son más susceptibles al cambio, por el aumento en superficie de Mosaico de pastos y cultivos (Anzoátegui et al., 2023).

Cabe destacar que las imágenes satelitales de gran escala puede llegar presentar limitaciones en sus resoluciones espacial, espectral y temporal. Por ello, la incorporación de los sistemas aéreos no tripulados (UAS = Unmanned Aerial System) y los microsensores, se posicionan como una nueva alternativa para obtener imágenes de alta resolución, superando limitaciones presentadas por las imágenes satelitales (Estrada Zúñiga et al., 2022).

Sin duda las herramientas SIG deben ser utilizadas para el estudio de los bosques secos tropicales, como han se venido manejando décadas atrás. Con el avance de la tecnología en los últimos años, los resultados obtenidos a través de su utilización brinda datos con mayor precisión, análisis mas profundos y posibles rutas de acción con mejores resultados al momento de ser aplicadas.

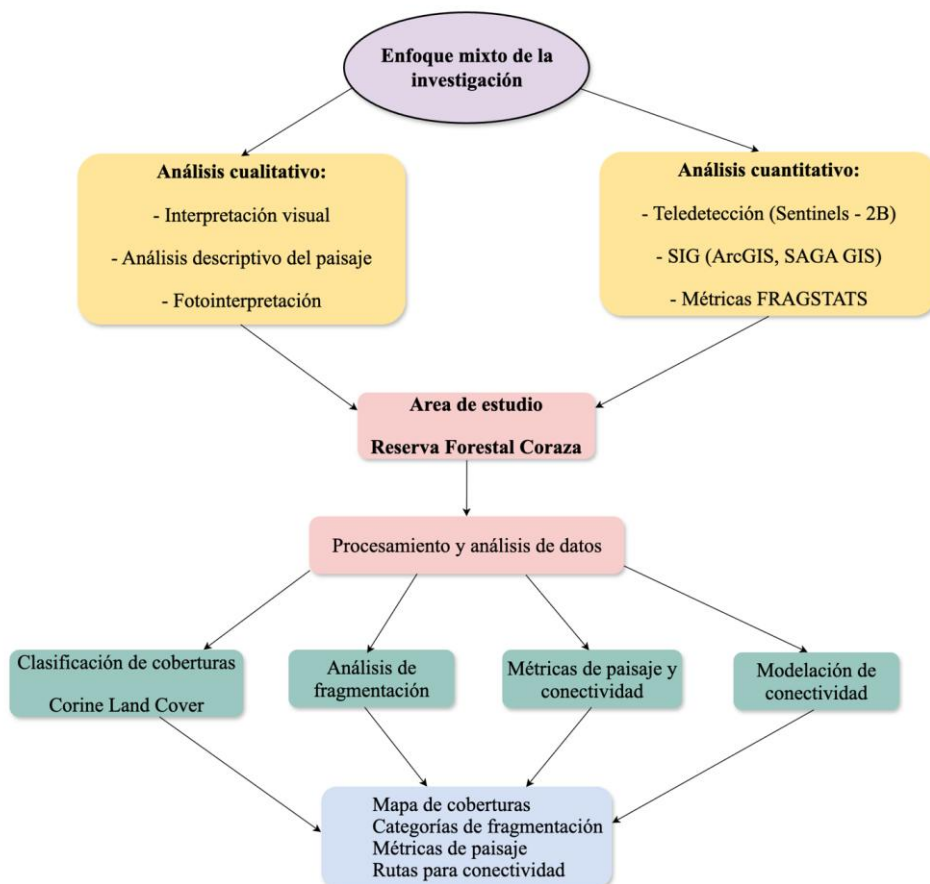
7. Metodología

7.1 Enfoque metodológico

Este estudio adopta un enfoque de investigación mixto que incorpora análisis cualitativos y cuantitativos, basado en técnicas espaciales para detectar patrones de cambio en la cobertura y uso del suelo. Esto permitirá obtener una comprensión detallada sobre la distribución y las modificaciones que han experimentado la cobertura vegetal y el uso del suelo en la Reserva Forestal Coraza.

Figura 2.

Enfoques de la investigación



7.2 Tipo de estudio

El presente trabajo es de tipo exploratorio. A través de las diferentes actividades descritas en la metodología expuesta a continuación se tiene como objetivo evaluar el grado de fragmentación y conectividad estructural del paisaje por medio de herramientas SIG en la Reserva Forestal Coroza (Departamento de Sucre, Colombia).

7.3 Procedimiento

Fase 1. Caracterización de coberturas de la tierra mediante clasificación supervisada

Este estudio se fundamentó en la identificación y clasificación de la de las coberturas vegetales, adoptando como referencia la metodología Corine Land Cover para Colombia (IDEAM, 2010). Esta metodología proporciona un marco estandarizado que facilita la comparación temporal y espacial de los cambios en el paisaje, lo cual resulta esencial para el monitoreo ambiental y la planificación territorial, que contribuye a la estandarización y la interoperabilidad de la información geográfica.

La base de datos espacial fue elaborada a partir de la fotointerpretación y el procesamiento digital de dos imágenes multispectrales provenientes del satélite Sentinel-2B, descargadas del programa Copernicus de la Unión Europea, correspondientes a los meses de julio de 2024 y enero de 2025. Estas imágenes con una resolución de 10 metros y una amplia cobertura espectral, constituyen una fuente de datos altamente precisa para el análisis de patrones del paisaje y la clasificación temática de coberturas.

Se seleccionaron los años 2024 y 2025 de las imágenes satelitales, teniendo en cuenta que las dinámicas en los territorios pueden variar en el corto plazo, con respecto al uso de suelo por las actividades agropecuarias, aumento de la población, entre otros factores. Haciendo necesario el tener datos actualizados de la zona de estudio. Se tubo en cuenta un porcentaje de nuvosidad menor al 5% para evitar errores al momento de realizar el procesamiento de la información, donde las fechas escogidas cumplieron con este fundamental requisito. La investigación presenta un alto valor académico al realizar un análisis espacial reciente y verificable con apoyo de herramientas SIG, orientando el inicio para programas de reforestación, conectividad ecológica, entre otros.

Para facilitar la interpretación visual y optimizar la delimitación de las unidades de cobertura y uso del suelo, se empleó la combinación de bandas 4 (rojo), 3 (verde) y 2 (azul), correspondiente a una composición en color natural, ideal para la detección de rasgos superficiales de forma análoga a la percepción humana (Juárez-Fragoso et al., 2023).

El proceso de clasificación se realizó mediante la técnica de clasificación supervisada, ampliamente empleada en análisis de imágenes satelitales por su capacidad para integrar conocimiento experto en la identificación y asignación de clases de cobertura y uso del suelo. Este procedimiento fue aplicado de forma individual a cada una de las imágenes multiespectrales, utilizando el software ArcGIS Pro versión 3.0.3. Bajo este contexto, se implementó el algoritmo de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Classification, MLC), un enfoque paramétrico consolidado en el campo de la teledetección por su eficacia en la categorización de píxeles sobre la base de distribuciones estadísticas multivariadas.

Este algoritmo asume que los datos espectrales de cada clase se distribuyen normalmente y asigna cada píxel a la clase con la mayor probabilidad de pertenencia, considerando tanto la media como la matriz de covarianza espectral, lo que permite una discriminación óptima entre clases con solapamiento espectral (Udipi et al, 2024). Para asegurar la representatividad espacial y la significancia ecológica de las unidades clasificadas, se estableció un umbral mínimo de 0,5 hectáreas para la inclusión de polígonos en la clasificación final. Esta restricción minimiza la incidencia de ruido espacial asociado a fragmentos de pequeña extensión, que suelen presentar alta variabilidad espectral o errores de interpretación, y permite concentrar el análisis en unidades de paisaje de mayor relevancia ecológica y funcional.

Como resultado del proceso de clasificación de teledetección, se generó una capa temática ráster que discriminó cuatro clases principales de cobertura y uso del suelo: áreas agrícolas heterogéneas, vegetación herbácea y/o arbustiva, bosques y pastos. La definición de estas categorías se adhirió a los niveles establecidos por la metodología Corine Land Cover (CLC), adaptándolos rigurosamente a las particularidades biofísicas y antrópicas de la zona de estudio. Una vez finalizada la clasificación ráster, se procedió a la cuantificación espacial de la superficie ocupada por cada una de las clases identificadas. Este análisis cuantitativo es un paso metodológico indispensable, ya que no solo proporciona una descripción cuantitativa y espacial exhaustiva del paisaje (Alarcón, 2017), sino que también facilita la comprensión de patrones de distribución

espacial, la identificación de procesos de fragmentación del paisaje y la evaluación de la conectividad ecológica.

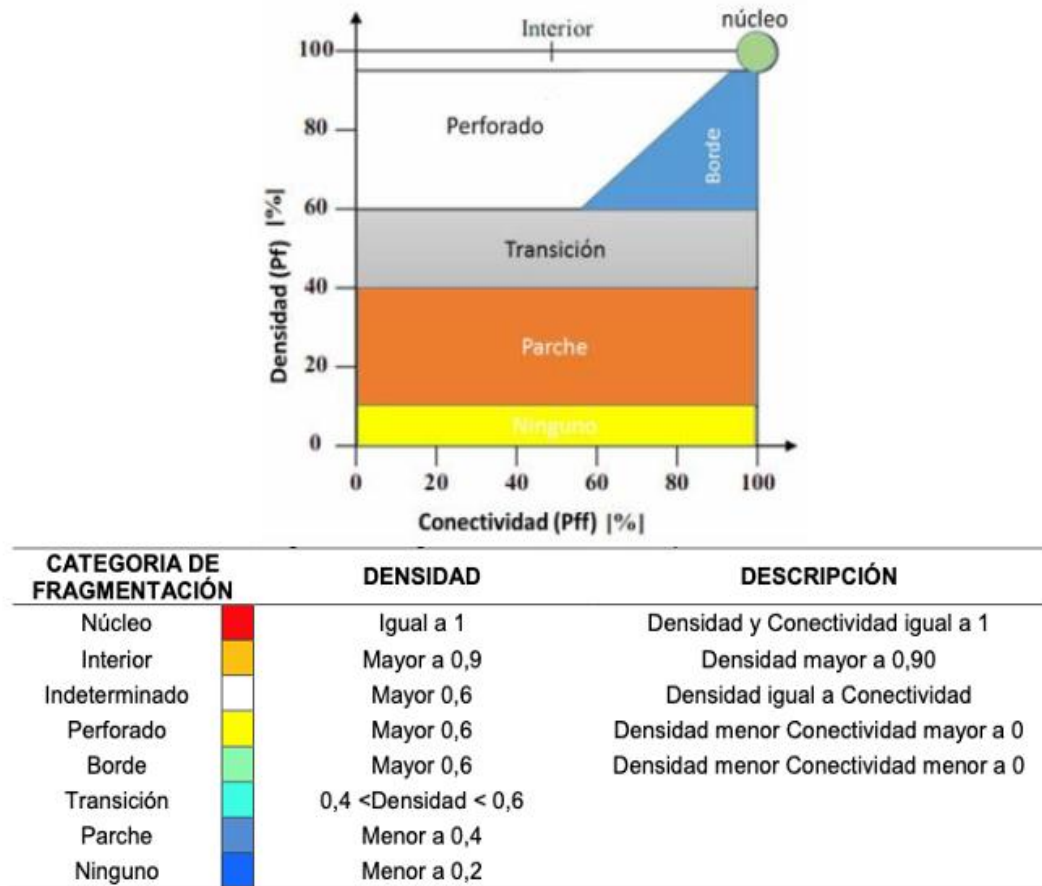
Fase 2. Analisis de fragmentación y conectividad

Una vez obtenida las coberturas terrestres, se determinaron las áreas núcleos o nodos de conservación, a partir del método de fragmentación alternativa introducido por Ritters, et al., (2000) y empleado por Phua y Tsuyuki (2008) a través del modelo SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses). Este modelo requiere como insumo fundamental, una capa ráster binaria que clasifique en términos de uso del suelo, si cada píxel está cubierto por vegetación forestal. Tal configuración permite el cálculo de dos parámetros clave: la densidad forestal (Pf), que se define como la proporción de celdas boscosas en una ventana de análisis, y la conectividad forestal (Pff), que evalúa la probabilidad condicional de que un píxel clasificado como bosque comparta vecinos inmediatos también boscosos.

Según López (2017), cuando Pff supera a Pf, implica que la cobertura forestal tiende a estar agregada espacialmente, es decir, que la probabilidad de encontrar un píxel adyacente con vegetación es mayor que el promedio general de cobertura en la ventana. Por el contrario, cuando Pff es menor que Pf, se sugiere una agregación de las áreas no boscosas, indicando una mayor fragmentación de la cobertura vegetal. La utilización del módulo “Fragmentation (Standard)” del software facilitó la identificación, cuantificación y visualización espacial de las diversas categorías de fragmentación. Finalmente, mediante las densidades fue posible asignar cada píxel a una de las seis categorías de fragmentación que se muestra a continuación:

Figura 3.

Descripción de las categorías de fragmentación empleadas por SAGA-GIS



Tomado de López, F., (2016). Fuente: Riitters et al.,(2000) implementado por Phua et al., (2008)

Por lo que se refiere a la evaluación de la estructura y conectividad del paisaje, se llevó a cabo un análisis de métricas a escala de clase y paisaje utilizando el software FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995). A nivel de clase, se determinaron diversas métricas entre las que se incluyen: área total de clase (CA), conectancia (CONNECT), índice euclidiano del vecino más cercano (ENN_MN), número de parches por clase (NP), porcentaje del paisaje (PLAND), índice de cohesión (COHESIÓN), y el índice de forma media (SHAPE_MN). Además, se incorporaron las siguientes métricas a nivel de paisaje: tamaño promedio del parche (AREA_MN), número de parques por clase (NP), índice de diversidad de Shannon (SHDI), área total del paisaje (TA) y el

índice del parche más grande (LPI). Estas métricas constituyen herramientas fundamentales para la caracterización del área y la configuración de los fragmentos dentro del paisaje estudiado.

Finalmente, con el objetivo de desarrollar una red de conectividad integral, el proceso se orientó a la creación de superficies de costo o zonas de menor resistencia. Para ello, se asignaron pesos porcentuales a dos variables fundamentales: la cobertura de la tierra (60%) y las categorías de fragmentación (40%), mediante el uso de la herramienta de superposición ponderada (Weighted Overlay) de ArcGIS. En lo que respecta a las coberturas, se otorgaron calificaciones que oscilan entre 1 y 9, donde un valor de 1 indica el menor costo de conectividad (por ejemplo, áreas de bosque denso y matorrales), mientras que un valor de 9 refleja las mayores resistencias (como áreas urbanizadas y espacios abiertos).

Las categorías de fragmentación recibieron también pesos en función de su naturaleza; se asignó un valor de 1 a las áreas núcleo, que son prioritarias para la conectividad y presentan baja resistencia, y valores incrementales a aquellas con mayor resistencia (por ejemplo, una categoría "Ninguno" se le dio un peso de 8). Posteriormente, se utilizó el módulo Cost distance para identificar áreas con dificultades o costos de resistencia al desplazamiento, seguido de la herramienta Cost Back link, que permitió seleccionar las zonas con los menores costos asociados.

Finalmente, la herramienta Cost Path generó un ráster de salida que documenta las rutas de menor costo (least cost path) desde las ubicaciones seleccionadas hasta la celda de origen más próxima, representando así la trayectoria con la menor suma de fricciones o resistencia. Este enfoque se fundamenta en la conectividad estructural o espacial, centrandó el análisis en las áreas núcleo identificadas como sitios potenciales para propiciar la conectividad.

8. Resultados

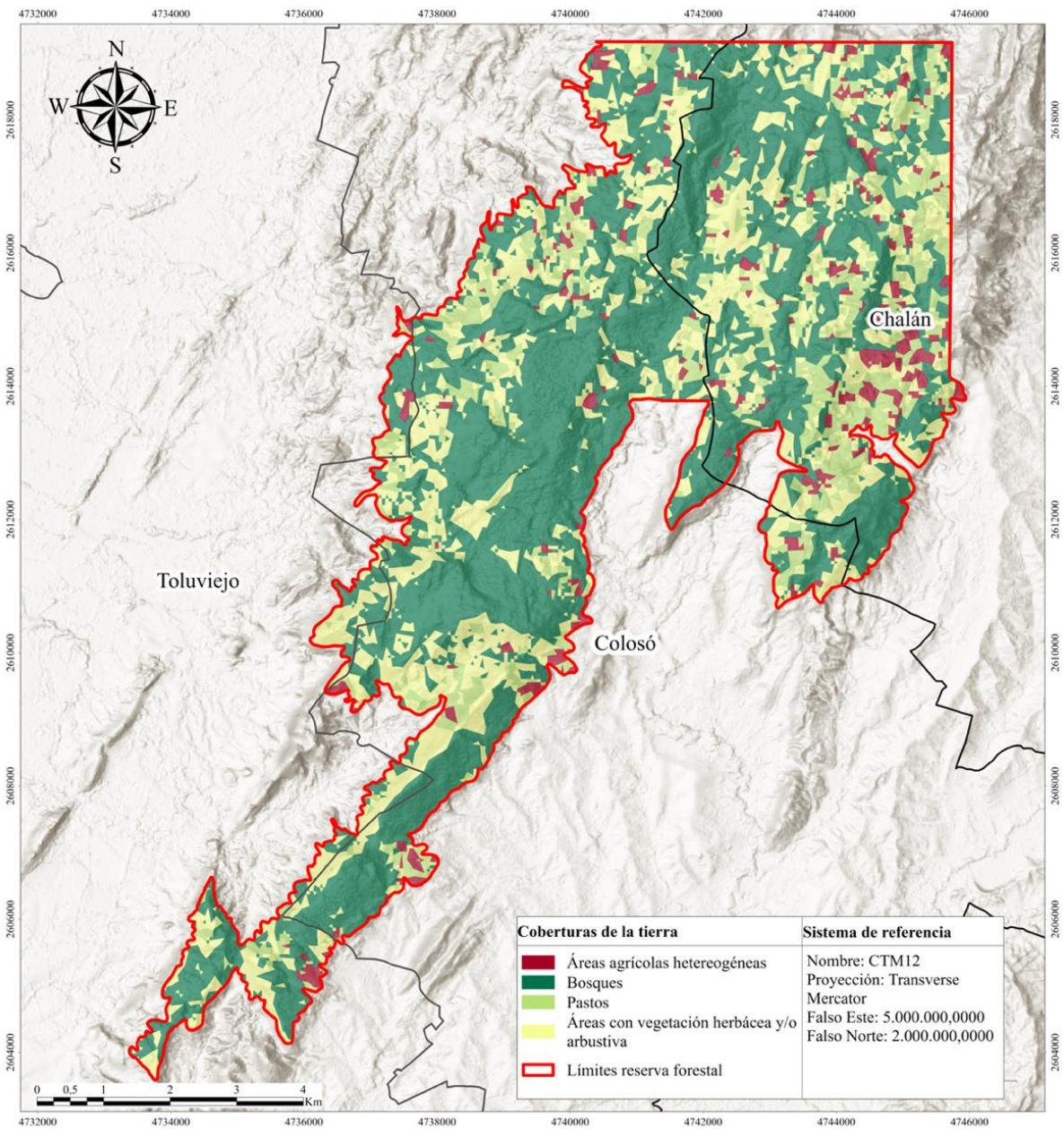
Clasificación supervisada y caracterización de coberturas de la tierra

Las coberturas identificadas y clasificadas se distinguen en cuatro niveles y se muestran en la Figura 4. El análisis realizado revela que la heterogeneidad en la cobertura del suelo y el uso del mismo dentro del paisaje de la reserva forestal genera una notable diversidad espacial de mosaicos, creando contrastes significativos entre los parches de vegetación y la matriz transformada asociada a actividades económicas, como la ganadería y la agricultura. Para la zona de estudio, aproximadamente el 56,53% del área está dominada por bosque seco, lo que resalta la importancia de estos ecosistemas en el mantenimiento de la biodiversidad y la estabilidad del paisaje. En segundo orden, las zonas con vegetación herbácea y/o arbustiva representan el 26,43% del total de la superficie analizada. Por su parte, las coberturas asociadas a usos antrópicos alcanzan un 17,04% del territorio (1.129,47 ha), distribuidas entre pastos (12,58%) y áreas agrícolas heterogéneas (4,46%).

La alta proporción de cobertura boscosa sugiere que la reserva aún mantiene una matriz dominante de vegetación natural, lo cual es fundamental para la integridad y conectividad ecológica del paisaje. Sin embargo, la presencia combinada de pastos, vegetación secundaria y áreas agrícolas evidencia procesos transformación del hábitat natural y representan focos de fragmentación estructural que afectan negativamente la conectividad del paisaje, aumentando la proporción de bordes, la vulnerabilidad de los parches remanentes y la presión sobre las especies dependientes de coberturas forestales continuas que pueden afectar la conectividad ecológica y el flujo de la biodiversidad.

Figura 4

Mapa de clasificación supervisada para la caracterización de las coberturas en la reserva forestal Coraza.



Análisis de fragmentación y conectividad estructural de la reserva

Los resultados evidencian una marcada heterogeneidad estructural en la configuración del paisaje dentro de la reserva forestal (Figura 5; Tabla 2). Se observa que la mayor proporción del área se encuentra clasificada en la categoría Borde (30,90%), lo que indica una alta incidencia de superficies expuestas a procesos de fragmentación, con elevado contacto entre hábitats naturales y matrices transformadas, lo cual incrementa los efectos de borde y reduce la funcionalidad ecológica de los fragmentos. Las categorías Parche (25,40%) y Transición (20,88%) también representan proporciones significativas del paisaje, lo que sugiere una disgregación notable de la cobertura boscosa en fragmentos de tamaño reducido y áreas inestables que actúan como zonas de amortiguamiento o en proceso de degradación o regeneración. Ahora bien, la cobertura identificada como Núcleo, únicamente representada con un 9,51%, señala la existencia de áreas con condiciones de conservación más estables, mínimamente influenciadas por bordes, pero cuya limitada extensión compromete su capacidad de sostener poblaciones viables de especies sensibles a la fragmentación.

Tabla 2.

Valores de categorías de fragmentación a nivel espacial para en el área de estudio

VALOR	CATEGORIA	N° DE CELDAS	AREA (ha)	AREA (%)
1	Núcleo	2525	126250	9,51
2	Interior	0	0	0
3	Indeterminado	1	50	0
4	Perforado	1613	80650	6,07
5	Borde	8208	410400	30,90
6	Transición	5547	277350	20,88
7	Parche	6747	337350	25,40
8	Ninguno	1920	96000	7,23

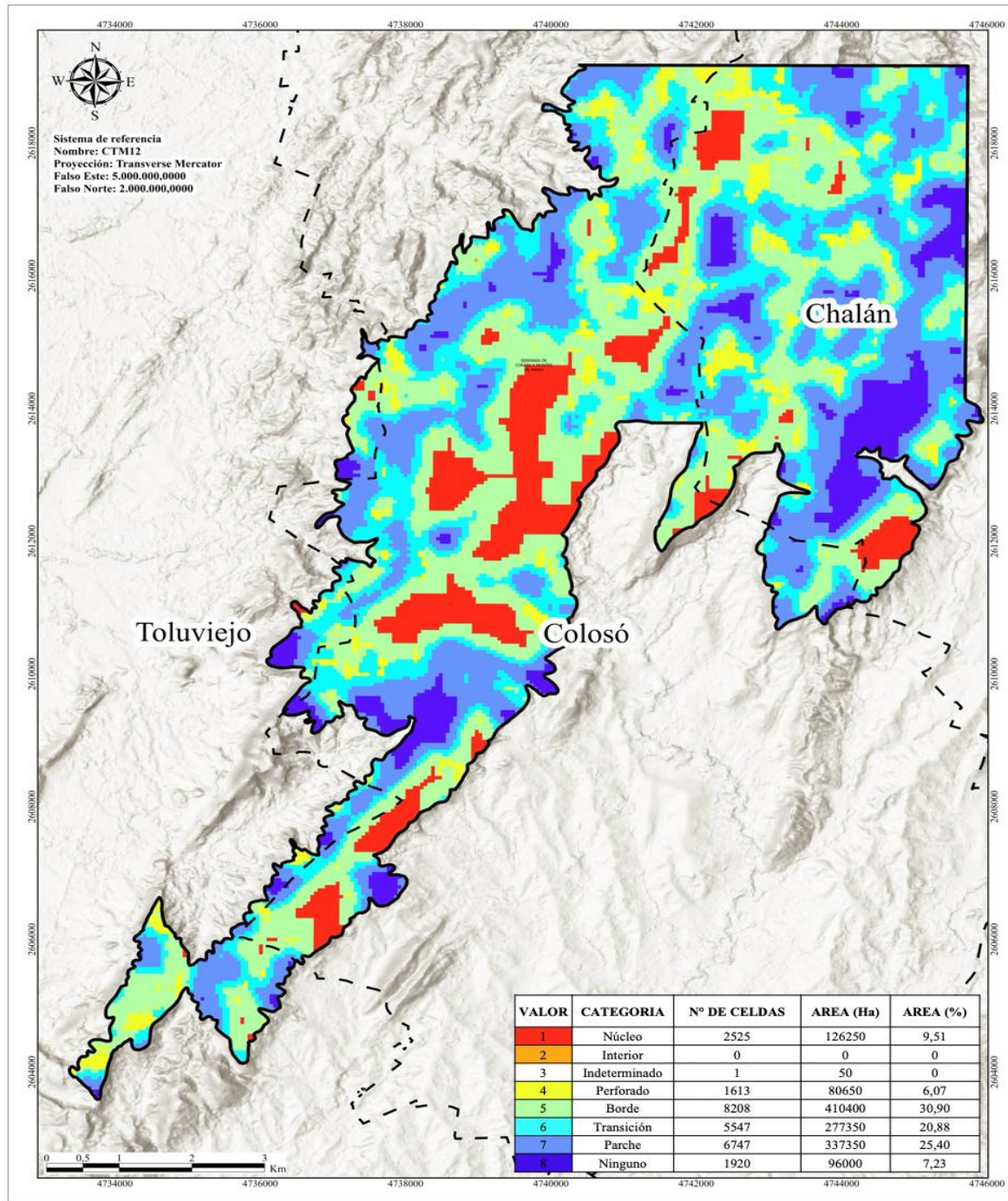
Por otra parte, la ausencia de celdas clasificadas como Interior evidencia que no existen zonas lo suficientemente amplias y aisladas de bordes como para ser consideradas núcleos profundamente conservados, lo cual es indicativo de una fragmentación avanzada. Finalmente, las categorías Perforado (6,07%) y Ninguno (7,22%) complementan el patrón de disgregación al señalar áreas con presencia de claros internos o celdas que no se asocian directamente con parches

boscosos, respectivamente (Figura 5; Tabla 2). En conjunto, estos resultados sugieren un paisaje con una matriz forestal fragmentada y dominada por configuraciones periféricas, lo que demanda estrategias urgentes de restauración ecológica y consolidación de conectividad estructural y funcional entre los remanentes boscosos.

El análisis de métricas de paisaje generado y con predominancia de bosque seco revela una configuración espacial caracterizada por una matriz dominada por esta cobertura, pero con una fragmentación evidente y la presencia de unidades antrópicas y de transición que modifican la estructura del mosaico donde la conectividad emerge como un factor crítico para la funcionalidad ecológica del sistema. A nivel de paisaje (Tabla 3), el área total evaluada ($TA = 6.640,25$ ha) se encuentra altamente fragmentada, con un elevado número de parches ($NP = 831$) y un tamaño medio de parche reducido ($AREA_MN = 7,99$ ha), lo que indica una pérdida de continuidad espacial.

Figura 5.

Categorías de fragmentación a nivel espacial en la reserva forestal Coraza.



El índice de parche más grande (LPI = 41,74) confirma que existe un parche de bosque seco que concentra gran parte del área, mientras que los valores de diversidad (SHDI = 1,08) y equidad (SHEI = 0,78) muestran una composición relativamente diversa, aunque dominada por una clase principal. En la evaluación por clases, el bosque seco ocupa el 55,81% del paisaje (CA = 3.706,25 ha), con un bajo número de parches (NP = 108) en comparación con otras coberturas,

lo que sugiere una mayor agregación; además, exhibe los valores más altos de cohesión (99,28) y de conectividad (4,66) lo que lo posiciona como la matriz estructurante del sistema y el principal soporte de procesos ecológicos.

Tabla 3.

Patrón del paisaje presente en la reserva forestal

Índice	Símbolo	Valor
Área total del paisaje	TA	6640
Índice de diversidad de Shannon	SHDI	1,08
Índice del parche más grande	LPI	41,74
Número de parches por clase	NP	831
Tamaño Promedio del fragmento	MPS	7,99

En contraste, las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva (ocupan el 26,90% del paisaje) presentan un alto número de parches (NP = 350), menor cohesión (90,38) y una conectividad más baja (2,23), reflejando un patrón espacial más fragmentado que podría estar asociado a dinámicas de sucesión secundaria o disturbios previos (

Tabla 4).

Por su parte, las coberturas antrópicas, representadas por pastos (4,60%) y áreas agrícolas heterogéneas (12,68%), se caracterizan por exhibir los valores más bajos de cohesión (70,77 y 87,00, respectivamente) y conectividad (CONNECT = 2,13 y 2,09), acompañados de altos valores de distancia media al vecino más cercano (ENN_MN = 244,86 m en pastos y 169,72 m en áreas agrícolas), lo que refleja una configuración espacial fragmentada, con parches dispersos y aislados que reducen drásticamente la permeabilidad del sistema (

Tabla 4).

La baja cohesión y conectividad de estas coberturas contrasta fuertemente con el bosque seco, que conserva los valores más altos de integridad estructural y funcional, lo que lo posiciona como el principal soporte de la conectividad ecológica en la reserva. En este contexto, la expansión de áreas agrícolas y ganaderas no solo reduce la cobertura de hábitat natural, sino que además genera una fragmentación que compromete la viabilidad a largo plazo de las especies dependientes del bosque, incluidas aquellas con baja capacidad de dispersión. En este sentido, dichas coberturas

funcionan como barreras dentro del paisaje, interrumpiendo la continuidad estructural y limitando el flujo biológico entre los remanentes de vegetación natural, lo que incrementa los procesos de aislamiento ecológico y acelera la pérdida de conectividad funcional en la reserva.

Estos resultados en conjunto sugieren que, aunque el bosque seco mantiene un rol dominante y relativamente bien conectado en la reserva, las coberturas secundarias y los usos antrópicos generan fragmentación, incrementan la heterogeneidad y reducen la conectividad funcional, lo que plantea la necesidad de estrategias de restauración y manejo que prioricen la consolidación de parches de bosque seco y el fortalecimiento de corredores ecológicos que aseguren la resiliencia del ecosistema frente a la presión antrópica.

Tabla 4.

Índices de composición del paisaje en la reserva forestal

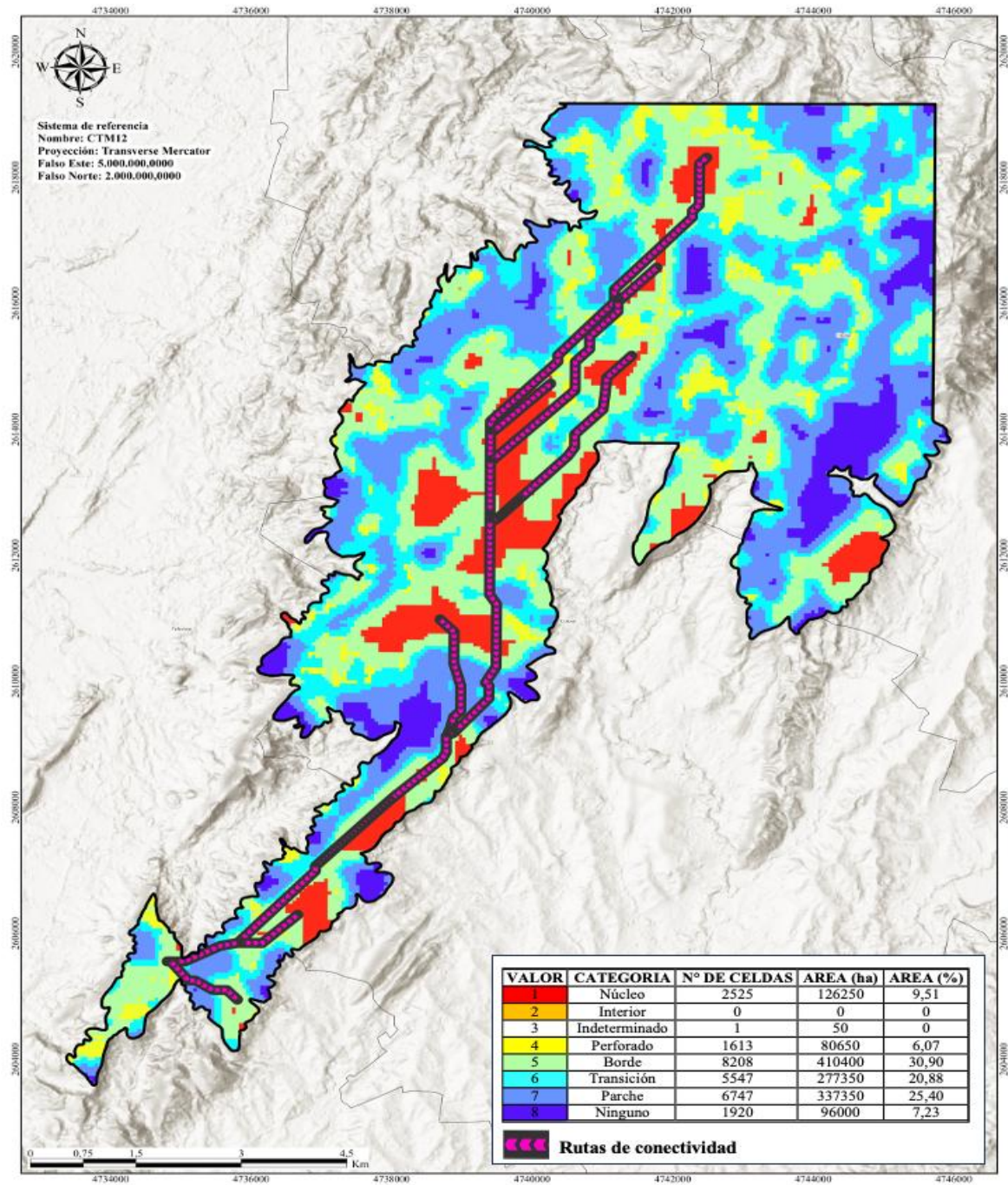
Clase	CA	PLAND	NP	SHAPE_MN	ENN_MN	COHESION	CONNECT
Bosques	3706,25	55,81	108	1,54	126,35	99,28	4,66
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1786,50	26,90	350	1,52	118,04	90,38	2,23
Pastos	305,25	4,60	152	1,26	244,86	70,77	2,13
Áreas agrícolas heterogéneas	842,25	12,68	221	1,41	169,72	87,00	2,09

En la Figura 6 se representan las rutas de conectividad que vinculan diversos fragmentos de Bs-t, las cuales han sido identificadas a partir de un análisis exhaustivo de las áreas núcleo en relación con la fragmentación del hábitat. Este enfoque nos permite visualizar las trayectorias que facilitan el movimiento de especies y el intercambio genético entre poblaciones, aspectos esenciales para la conservación de la biodiversidad. Al establecer conexiones entre los fragmentos boscosos, no solo se promueve la integridad ecosistémica, sino que también se minimizan los efectos negativos de la fragmentación, como la pérdida de especies y la degradación del hábitat. Además, estas rutas proporcionan una base cuantitativa para el seguimiento de la conectividad que puede complementarse con estudios de conectividad funcional orientados a evaluar la capacidad real de movilidad de especies de flora y fauna, así como los flujos ecológicos asociados. Bajo este contexto, este modelo constituye un primer acercamiento útil para identificar áreas prioritarias de

restauración y conservación restaurando corredores ecológicos que funcionen como pasajes seguros para la fauna, garantizando así un Bs-t más resiliente y sostenible.

Figura 6.

Ruta de menor costo para la conectividad del bosque seco en la reserva forestal.



9. Discusión

El análisis de la estructura del paisaje en la Reserva Forestal Coraza revela un ecosistema (Bs-T) sometido a una intensa presión antrópica, lo que ha resultado en un alto grado de fragmentación y una conectividad ecológica restringida. Los resultados cuantitativos obtenidos a través de métricas de paisaje y análisis de conectividad, ofrecen una base para la formulación de estrategias de conservación y restauración. El paisaje de la reserva se caracteriza por una matriz dominante de bosque seco (56,53%), pero con una notable presencia de coberturas antrópicas como pastos (12,58%) y áreas agrícolas (4,46%), lo que evidencia una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales. Este patrón coincide con la definición de McIntyre y Hobbs (1999), quienes clasifican como fragmentado a un paisaje que conserva entre el 10% y el 60% de su hábitat original, inmerso en una matriz transformada, un escenario consistente con el hallado por Cabezas (2020) en la cuenca del Río Calenturitas.

La transformación del Bs-T por la expansión agropecuaria es ampliamente documentada en el caribe colombiano. El estudio de Camargo (2017) en la cuenca del Río Cesar reportó una disminución del 70% del bosque seco entre 1986 y 2015, reemplazado principalmente por pastos (54,68%) y cultivos (39,67%). De forma similar, la investigación de la FCDS (2013) en Montes de María y otras zonas del caribe concluyó que los paisajes están dominados por una matriz antrópica con remanentes de bosque muy reducidos. Galván-Guevara et al. (2015) también describieron una "matriz desventajosa" para el bosque en el Arroyo Pechelín (Montes de María), clasificando la zona como insularizada debido al predominio del uso agropecuario. Nuestros hallazgos en la Reserva forestal Coraza son coherentes con esta tendencia regional, confirmando que la ganadería y la agricultura son los principales motores de la fragmentación del Bs-T.

Un hallazgo central de esta investigación es que el 30,9% del área analizada corresponde a la categoría de "Borde", mientras que las áreas "Núcleo" representan apenas un 9,51%. Esta desproporción es ecológicamente significativa, ya que una alta proporción de borde implica una mayor exposición de los fragmentos de bosque a perturbaciones externas, como cambios microclimáticos y bióticos, y un incremento del efecto borde. La escasez de áreas núcleo, vitales para la supervivencia de especies sensibles, subraya la vulnerabilidad del ecosistema. Esta situación es consistente con los hallazgos de López (2017) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, donde las áreas núcleo para ecosistemas arbolados representaban menos del 1% del área de estudio.

Las métricas de paisaje a nivel de clase refuerzan esta interpretación, donde el elevado número total de parches ($NP=831$) y su reducido tamaño promedio (7,99 ha) son indicadores de una fragmentación avanzada. Estos parches pequeños y de formas irregulares, como lo demuestra el índice de forma media ($SHAPE_MN > 1$), son menos efectivos para la conservación y más susceptibles al efecto borde, un patrón también observado por Cabezas (2020) en la cuenca del Río Calenturitas y por Alarcón (2017) en el Río Cravo Sur.

Podemos resaltar de esta investigación el ser uno de los primeros estudios en cuantificar la estructura del paisaje y modelar la conectividad ecológica para la Reserva Forestal Coraza, un área de vital importancia para la conservación del Bs-T en el Departamento de Sucre. Mientras estudios previos en la región de Montes de María, como el de Galván-Guevara et al. (2015), se enfocaron en caracterizar la fragmentación, nuestro trabajo avanza al identificar áreas núcleo y modelar rutas de conectividad estructural. Este enfoque permite pasar de un diagnóstico a una propuesta concreta de corredores para la restauración. Al generar estos insumos técnicos, se ofrece una herramienta que puede integrarse en instrumentos de planificación territorial, respondiendo a la necesidad de información cartográfica detallada, como señalan Portillo & Sánchez (2010) ha limitado históricamente la planificación efectiva del Bs-T.

Los resultados demuestran cómo la reducción del tamaño de los parches y el aumento del aislamiento afectan la estructura del hábitat, creando islas de bosque en una matriz agrícola, lo que limita los flujos genéticos y la persistencia de las poblaciones. Las implicaciones prácticas son directas y significativas para la gestión de la Reserva forestal Coraza y el mapa de rutas de conectividad (Figura 6) es una herramienta tangible para la toma de decisiones que permite a las autoridades ambientales y municipales priorizar áreas para la reforestación y la restauración ecológica. La identificación de áreas núcleo y corredores de menor costo señala dónde los esfuerzos de restauración tendrían el mayor impacto para mejorar la conectividad a nivel de paisaje, un instrumento clave para la planificación territorial.

Las estrategias de manejo deben enfocarse en consolidar y expandir las áreas núcleo y en fortalecer los corredores identificados mediante acciones como la implementación de sistemas silvopastoriles, cercas vivas y reforestación con especies nativas. Esto no solo beneficiaría a la biodiversidad, sino que también podría generar servicios ecosistémicos adicionales para las comunidades locales. Los resultados resaltan la necesidad de articular la gestión de la reserva con los diferentes planes de ordenamiento territorial de los municipios de Colosó, Chalán y Tolviejo,

los planes a nivel departamental y los diferentes instrumentos de planificación para asegurar que el desarrollo rural sea compatible con los objetivos de conservación.

En conclusión, este trabajo proporciona un diagnóstico detallado de la fragmentación y una primera aproximación a la conectividad estructural en la Reserva Forestal Coraza. Los resultados son un llamado de atención sobre la vulnerabilidad de este ecosistema, pero también una hoja de ruta para orientar acciones de manejo y restauración que busquen revertir los procesos de degradación y asegurar la conservación a largo plazo del bosque seco tropical en los Montes de María.

10. Conclusiones

La clasificación supervisada permitió identificar cuatro coberturas principales: bosque seco (56,53%), vegetación herbácea/arbustiva (26,43%), pastos (12,58%) y áreas agrícolas heterogéneas (4,46%). Estos resultados evidencian que, aunque la matriz dominante sigue siendo el bosque, existe una presión significativa de usos antrópicos que generan fragmentación, pérdida de continuidad espacial y reducción de hábitat para especies dependientes de coberturas boscosas continuas.

El análisis de categorías de fragmentación mostró que el 30,9% del área corresponde a borde, seguido por las clases parche (25,4%) y transición (20,88%), mientras que solo un 9,51% corresponde a áreas núcleo. La ausencia de zonas clasificadas como interior confirma una fragmentación avanzada en la reserva. Esto refleja un paisaje con predominio de bordes y parches pequeños, lo que incrementa los efectos de borde, limita la viabilidad de poblaciones sensibles y compromete la integridad ecológica del bosque seco.

Las métricas de fragstats evidenciaron un paisaje con un elevado número de fragmentos y tamaño medio de parche reducido, lo que confirma un alto nivel de fragmentación. No obstante, el bosque seco, que ocupa el 55,81% del área, mantiene los valores más altos de cohesión (99,28) y conectividad (4,66), consolidándose como la matriz estructurante del sistema. En contraste, las coberturas antrópicas presentan baja cohesión y alta dispersión, actuando como barreras que reducen la permeabilidad ecológica del paisaje.

La modelación de superficies de costo permitió identificar rutas de menor resistencia entre áreas núcleo, las cuales constituyen corredores prioritarios para la restauración y la reforestación. Estos corredores son fundamentales para restablecer el flujo biológico, mejorar la conectividad estructural y funcional del bosque seco, y asegurar la resiliencia del ecosistema frente a la presión antrópica. Su implementación representa una base estratégica para programas de reforestación que integren conservación de biodiversidad y recuperación de servicios ecosistémicos.

11.Recomendaciones

La investigación realizada presenta limitaciones en cuanto a la profundidad de los temas tratados, sin dejar a un lado los aportes significativos de esta investigación. Por lo tanto, se puntualizan a continuación estudios a desarrollar a futuro para dar continuidad a la temática expuestas y fortalecer hallazgos derivados de los resultados obtenidos.

En primer lugar, el análisis se centró en la conectividad estructural, la cual describe las relaciones físicas entre parches de hábitat pero ignora la respuesta conductual de los organismos. La conectividad funcional, que integra las capacidades de dispersión de especies focales, ofrecería una visión más realista. La falta de datos de campo sobre la fauna de la reserva impidió la modelación funcional, lo que constituye una línea de investigación futura prioritaria, tal como se recomienda en estudios similares para priorizar rutas de conservación. En segundo lugar, aunque se utilizaron imágenes satelitales actualizadas, un análisis multitemporal más profundo, como el realizado por Camargo (2017) o Cerrato et al. (2017), permitiera cuantificar las tasas históricas de deforestación y comprender mejor la dinámica del paisaje.

La validación en campo de las coberturas (capturando diferentes puntos distribuidos por toda la reserva) y las rutas propuestas, permitiría ajustar la clasificación dando mayor precisión a las coberturas y sus respectivas áreas y también evaluar a mayor detalle la factibilidad de los corredores, considerando barreras no detectadas satelitalmente. Este estudio abre, por tanto, varias líneas de investigación prioritarias.

Es imperativo realizar estudios de conectividad funcional utilizando especies focales (p. ej., primates como *Aotus griseimembra*, estudiado por Alvarado 2018) para modelar corredores que reflejen con mayor precisión las necesidades ecológicas de la fauna. La valoración de servicios ecosistémicos podría fortalecer los argumentos para la conservación y facilitar la creación de esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA).

Dada la baja proporción de áreas núcleo y la ausencia de zonas clasificadas como interior, es prioritario implementar programas de restauración y reforestación en torno a estos núcleos para ampliar su extensión y funcionalidad. Se recomienda consolidar los corredores identificados por rutas de menor costo, ya que estos permitirán recuperar la conectividad ecológica, facilitar el movimiento de especies y reducir los efectos del aislamiento generados por la fragmentación.

Cabe destacar que el predominio de categorías borde y la alta presencia de coberturas antrópicas señalan la necesidad de establecer medidas de manejo sostenible con las comunidades locales, enfocadas en reducir la presión de la ganadería y la agricultura extensiva. Identificando tipos de cultivos, actividades ganaderas y/o asociaciones presentes en la zona de estudio, para implementar fortalecimientos educativos para los campesiones, comunidades y/o habitantes en la reserva, con el fin de mejorar su relación con la conservación y protección de la reserva forestal.

Teniendo presente la importancia del componente social, se recomienda realizar estudios desde el área social para identificar con mayor detalle su incidencia en la fragmentación de los bosques, y así fortalecer las rutas de acción que deben ser implementadas, considerando todos los posibles factores que influyen.

12. Referencias

- Aguilera, M. (2005). La economía del departamento de Sucre: Ganadería y sector público. Documentos de trabajo sobre economía regional. Bogotá: Banco de la República, 1-129.
- Aguilera, M. (2013). Montes de María: Una subregión de economía campesina y empresarial. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República, 195. 1-93.
- Alarcón, L. (2017). Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del río cravo sur en el municipio de Yopal - Casanare- Colombia Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD]. Bogotá D.C.
- Alonso, A. (2014). Evaluación de la conectividad estructural y funcional, bajo la implementación de escenarios de reforestación en el corredor Podocarpus Yacuambi, Ecuador CATIE]. Turrialba, Costa Rica.
- Amarnath, G., Babar, S., & Ramachandra Murthy, M. S. (2017). Evaluating MODIS-vegetation continuous field products to assess tree cover change and forest fragmentation in India – A multi-scale satellite remote sensing approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20(2), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.05.007>
- Arriaga Velasco-Aceves, P., Xu, C.-Y., & Ginzburg, R. (2021). Chaco region: Forest loss and fragmentation in the context of the territorial planning law. Remote sensing assessment in Formosa, Argentina application case. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01846. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01846>.
- Alvarado, K. (2018). Propuesta de Área Prioritaria para la conservación, restauración y conectividad en el Departamento del Magdalena, Colombia Universidad El Bosque]. Bogotá, D.C.
- Brazuelo, J. (2020). Evaluación de la conectividad ecológica y priorización de áreas para la gestión de hábitats en el parque regional del Sureste (Madrid) Universidad politécnica de Madrid]. Madrid.
- Cabezas, M. (2020). Análisis de fragmentación y conectividad estructural del paisaje en la cuenca hidrográfica del río Calenturitas, departamento del Cesar-Colombia Universidad Santo Tomás]. Valledupar, Cesar.
- Calderón, P; García, S & Murillo, J. (2023). Helechos y Licófitos del Bosque Seco Tropical: Reserva Forestal Protectora Serranía de Coraza y Montes de María (Sucre – Colombia) [tesis de pregrado, Universidad de Sucre Sincelejo]. Biblioteca Digital Universidad de Sucre Colombia.
- Campos, Valeria E., & Figueroa-Masanet, Agostina. (2024). A systematic review of remote sensing data to assess dry forests attributes. *Bosque (Valdivia)*, 45(1), 17-41. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000100017>.
- Cerrato, L., Maldonado, P., & Ñañez, A. (2017). Zonificación de áreas prioritarias para la conservación y recuperación ecosistémica de la cuenca baja del río Ranchería mediante sistemas de información geográfica en el departamento de la Guajira Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Bogotá, D.C.

- Correa, C., Mendoza, M., & López, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23.
- Estrada Zúñiga, A. C., Cárdenas Rodríguez, J., Bejar Saya, J. V., & Ñaupari Vásquez, J. (2022). Estimación de la biomasa de una comunidad vegetal altoandina utilizando imágenes multispectrales adquiridas con sensores remotos UAV y modelos de regresión lineal múltiple, máquina de vectores soporte y bosques aleatorios. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 327–338. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.027>.
- Evangelista, V., J. L., Caballero, J., & Martínez, M. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*(72), 23-38.
- Fao, & pnuma. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Fcds. (2013). Análisis de conectividad de bosque seco tropical en cuatro ventanas del caribe colombiano analizadas a una escala más detallada que 1:250.000. Proyecto paisajes para la conservación. In F. p. l. c. y. e. d. sostenible (Ed.), (pp. 1-118).
- Galván-Guevara, Ballut-Dajud, G. y., & De La Ossa-V, J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana* 16(2), 149-157.
- Galván, S., Gómez, H., De la Ossa, J., & Fajardo, A. (2009). Biodiversidad en el área de influencia de la estación primates de Colosó, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de ciencia Animal*, 1(1), 98-121.
- García, S., & Mercado, J. (2017). Diversidad de briófitos en fragmentos de bosque seco tropical, Montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 824–831.
- García, S., Basilio, H., Herazo, F., Mercado, J., y Morales, M. (2016). Diversidad de briófitos en los Montes de María, Colosó (Sucre, Colombia). *Colombia Forestal*, 19 (1), 41-52.
- González, M., Plascencia-Escalante, F., & Martínez-Trinidad, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y Bosques*, 22(2), 41-52.
- Halffter, G. (1992). La diversidad biológica de Iberoamérica I (I ed.). México: Instituto de Ecología, A.C.
- Henaó, N., Torres, A. M., Tafur, J. C., & Guevara, L. (2018). ¿Existe un efecto de borde sobre la estructura vegetal y el potencial de regeneración en fragmentos de bosque seco tropical? *Biota Colombiana*, 19(1), 3–16. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19n01a01>.
- Holdridge, L. (1967). Life zone ecology, 2nd ed. Tropical Science Center. San José, Costa Rica, 1-206
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (2010). Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, IDEAM, Bogotá, D.C,

- IDEAM. (2020). Cifra de deforestación en Colombia 2020. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>.
- IDEAM. (2023). Boletín Detección Temprana de Deforestación - DTD.
- Juárez-Fragoso, M., Perroni-Ventura, Y., Dáttilo, W., Gómez-Díaz, G., Hernández, I., & Guevara, R. (2023). Identificando zonas potenciales para la conservación florística en el municipio de Tlalixcoyan, Veracruz, a partir de descriptores de paisaje y conectividad. *Madera y Bosques*, 29 (2).
- Juárez-Fragoso, M., Perroni-Ventura, Y., Dáttilo, W., Gómez-Díaz, G., Hernández, I., & Guevara, R. (2023). Identificando zonas potenciales para la conservación florística en el municipio de Tlalixcoyan, Veracruz, a partir de descriptores de paisaje y conectividad. *Madera y Bosques*, 29(2).
- Lacadena, M. (2019). Evaluación y análisis de la conectividad ecológica de bosques maduros aplicado a la Marta (Martes Martes) como especie de interés en la provincia de Álava [Universidad de Zaragoza]. España.
- Laudecina, A., Alvarez, J. A., Guida-Johnson, B., & Torres, L. M. (2026). From structure to strategy: A remote sensing-based approach for sustainable use planning in Neltuma flexuosa DC. forests of Argentina's Monte. *Journal of Arid Environments*, 232, 105497. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105497>.
- León-Alfaro, Y. (2019). Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 102-120. <https://doi.org/doi:10.15446/rcdg.v28n1.67969>
- López, F. (2017). Análisis de Conectividad Espacial y Fragmentación de la Ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta [Universidad Militar Nueva Granada]. Bogotá, D.C.
- McIntyre, S. and Hobbs, R. (1999), A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*, 13: 1282-1292. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97509>.
- Marín Valencia, A. L., Toro Restrepo, L. J., & Uribe Soto, S. I. (2008). Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (23), 5–16. Universidad Nacional de Colombia.
- Méndez-Toribio, M., & Gómez-Ruíz, P. (2022). Sección especial sobre restauración ecológica de ecosistemas. In E. d. I. S. e. s. r. t. e. d. ecosistemas. (Ed.). *Acta Botanica Mexicana* 129: e2157. <https://doi.org/DOI: http://doi.org/10.21829/ abm129.2022.2157>.
- Meza-Joya, F. L., Ramos, E., & Cardona, D. (2020). Forest fragmentation erodes mammalian species richness and functional diversity in a human-dominated landscape in Colombia / La fragmentación del bosque erosiona la riqueza de especies de mamíferos y la diversidad funcional en un paisaje dominado por los humanos en Colombia. *Mastozoología Neotropical*, 27(2), 338–348. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-93832020000300338.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016, marzo 28). Auto No. 099: Por medio del cual se realiza un seguimiento y control ambiental. República de Colombia.
- Molina, M., & Helo, E. (2017). Zonificación de la vulnerabilidad a la deforestación del bosque seco tropical mediante análisis multicriterio, en los municipios de San Juan Nepomuceno, Maria La Baja Y San Jacinto (Bolívar, Colombia) Universidad Distrital Francisco José Caldas J. Bogotá.
- Morales, A., & Sarmiento, D. (2008). Árboles del Bosque Seco Tropical (BsT) en el área del Parque Recreativo y Zoológico Piscilago- Nilo, Cundinamarca. In U. A. d. Colombia (Ed.). Bogotá, Colombia.
- Navarro, A., Madrigal, E., & Vargas, E. (2022). Conectividad estructural entre áreas prioritarias de conservación del Corredor Biológico Premontano Chirripó-Savegre, Costa Rica. UNED Research Journal, 14(1), 1-12.
- Pizano, C., & García, H. (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia (C. Pizano & H. García, Eds.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Pozzobon, E., & Osorio, R. (2002). Evaluación de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Ticoporo, estado Barinas Venezuela, en base al análisis multitemporal de imágenes de percepción remota. Revista Geográfica Venezolana, 43(2), 215-235.
- Promontes. (2003). Programa de Desarrollo y Paz de los Montes de María -Promontes, Corporación Territorios, Universidad de Cartagena. Cartagena.
- Quiroga-C., Johana Andrea, Roa-R., Hasbleidy Yaneth, Melo, Omar, & Fernández-M., Fernando. (2019). ESTRUCTURA DE FRAGMENTOS DE BOSQUE SECO TROPICAL EN EL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 23(1), 31-51. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.1.2>.
- Ramírez, D., & Rodríguez, L. (2019). Zonas prioritarias para la conservación de ecosistemas afectados por procesos de desertificación en la cuenca media del río Chicamocha-Colombia. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A]. Bogotá.
- Rodríguez-Echeverry, J., & Leiton, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. Revista Mexicana de Biodiversidad, 92, e923449. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>.
- Rodríguez, Y., & Ticay, A. (2021). Herramientas de análisis espacial para el establecimiento de rutas de conectividad ecológica en la unidad hidrológica de Tisma, período 1991-2021 Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Managua.
- Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. Revista Científica, 33(3), 243-253. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- Tamayo-Quintana, A., & Torres-Romeroa, F. (2022). Amenazas y riesgos de origen natural y antrópico que pueden afectar un proceso de restauración ecológica en bosque seco tropical:

- estudio de caso Central Hidroeléctrica El Quimbo (Huila, Colombia). *Gestión y Ambiente*, 25(1), 1-22.
- Udupi, S., Hemamalini, H., Chittora, V., Prabhuraj, D., Patil, S. (2024). Efficient schemes of classifiers for remote sensing satellite imageries of land use pattern classifications. *Mercator, Fortaleza*, 23 (23004). <https://doi.org/10.4215/rm2024.e23004>.
- Valjarević, A., Morar, C., Brasanac-Bosanac, L., Cirkovic-Mitrovic, T., Djekic, T., Mihajlović, M., Milevski, I., Culafic, G., Luković, M., Niemets, L., Sehida, K., & Kaplan, G. (2025). Sustainable land use in Moldova: GIS & remote sensing of forests and crops. *Land Use Policy*, 152, 107515. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107515>.
- Xu, M., Tian, J., Tian, Q., Huang, F., He, S., Zhang, Z., & Li, X. (2025). Optimizing remote sensing methods for forest stand density estimation in mountainous areas: A UAV-Sentinel-2 synergy. *Ecological Indicators*, 179, 114247. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114247>.
- Yepes, A., & Villa, J. (2010). Sucesión vegetal luego de un proceso de restauración ecológica en un fragmento de bosque seco tropical (La Pintada, Antioquia). *La Sallista de Investigación*, 7(2), 24-34.