

CONECTIVIDAD ECOLÓGICA COMO ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN EN
PAISAJES AGROPECUARIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE GUAROA,
META



YINNY MARCELA CANO CALDERÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MAESTRIA EN ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO
VILLAVICENCIO

2025

CONECTIVIDAD ECOLÓGICA COMO ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN EN
PAISAJES AGROPECUARIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE GUAROA,
META

YINNY MARCELA CANO CALDERÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ordenamiento
Ambiental del Territorio

Asesor

Mg. DIEGO ANDREY CORTES NARANJO

Magister en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MAESTRIA EN ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Phd. Raquel Beatriz ROMERO PUENTES

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Agradecimientos

A mis padres y mi hermano, por todo su apoyo incondicional que me han brindado siempre y por impulsarme a alcanzar esta nueva meta. Este logro también les pertenece, porque han sido siempre mi mayor fortaleza.

Al profesor Diego Andrey Cortés Naranjo, director de esta tesis, por su acompañamiento constante, sus valiosas recomendaciones, su paciencia y su apoyo durante la elaboración de este trabajo.

A todos los profesores y profesoras del programa, por su conocimiento, enseñanzas y valiosos aportes en este proceso académico, que enriquecieron de manera significativa la construcción de esta investigación.

A los actores sociales del municipio de San Carlos de Guaroa, quienes me recibieron con disposición y generosidad, compartiendo sus conocimientos, experiencias y perspectivas sobre el territorio.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
1 Planteamiento del problema	14
1.1 Pregunta de investigación.....	16
2 Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 Justificación.....	18
4 Antecedentes	19
5 Marco de referencia.....	22
5.1 Marco teórico	22
5.1.1 Conectividad ecológica.....	22
5.1.2 Fragmentación del paisaje.....	23
5.1.3 Corredores ecológicos.....	25
5.1.4 La conectividad en el ordenamiento territorial	25
5.2 Marco normativo	26
6. Metodología.....	30
5.3 Área de estudio.....	31
5.4 Fase I – Identificación de los procesos de fragmentación en el paisaje agropecuario ...	32
5.4.1 Interpretación de coberturas de la tierra.....	32
5.4.2 Indicadores de la fragmentación	33
5.5 Fase II – Caracterización de motores de la fragmentación	34
5.6 Fase III – Formulación de la conectividad ecológica.....	35
6 Análisis y Discusión de resultados	37
6.1 Coberturas de la tierra	37
6.2 Análisis de la Fragmentación del paisaje	40

6.2.1	Categorías de fragmentación.....	40
6.2.2	Caracterización estructural del paisaje.....	41
6.2.3	Cambios espaciales de la cobertura forestal	43
6.2.4	Variables asociadas a la fragmentación del paisaje	44
6.2.5	Grado de fragmentación de las coberturas naturales	45
6.3	Motores de la fragmentación.....	47
6.4	Conectividad ecológica	50
6.4.1	Modelamiento de hábitats	50
6.4.2	Configuración espacial del paisaje.....	52
6.4.3	Propuesta de mecanismos de la conectividad ecológica.....	52
7	Conclusiones	60
8	Recomendaciones y propuestas de futuras investigaciones	63
9	Referencias bibliográficas	64
	Anexos	79

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Normatividad nacional relacionada con la conectividad ecológica.....	27
Tabla 2. Instrumentos y compromisos en relación con la conectividad ecológica.....	28
Tabla 3. Categorías de fragmentación.	33
Tabla 4. Comparación de Coberturas del suelo en el municipio de San Carlos de Guaroa (1985–2025).	39
Tabla 5. Indicadores espaciales de la fragmentación del paisaje.....	43

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema metodológico.	30
Figura 2. Ubicación del área de estudio del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.....	32
Figura 3. Comparación de las categorías de fragmentación del paisaje en San Carlos de Guaroa entre 1985 y 2025.....	41
Figura 4. Cambio en la conectividad del paisaje entre 1985 y 2025, en San Carlos de Guaroa...	42
Figura 5. Ventana de comparación de la cobertura boscosa en el A) río Acacías y B) río Metica, estado inicial y actual del paisaje, y su grado de fragmentación.	46
Figura 6. Modelo de distribución de especies de acuerdo con el periodo A) cálido y B) lluvioso.	51
Figura 7. Visualización de corredores ecológicos y buffer de 100 m propuestos en zonas de drenaje natural.	53
Figura 8. Visualización de A) Corredor ecológico propuesto (violeta), B, C, D) áreas potenciales para la recuperación a través de la ronda hídrica.....	55
Figura 9. Zonas propuestas para la implementación de pasos de fauna.	57

Lista de Anexos

Pág.

Anexo 1. Mapa de Coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover para el municipio de San Carlos de Guaroa, año 1985.....	79
Anexo 2. Mapa de Coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover para el municipio de San Carlos de Guaroa, año 2025.....	80
Anexo 3. Mapa de categorías de fragmentación del paisaje del año 1985 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	81
Anexo 4. Mapa de categorías de fragmentación del paisaje del año 2025 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	82
Anexo 5. Mapa de cambios en la conectividad del paisaje entre 1985 y 2025 basado en el análisis FOS Change, en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	83
Anexo 6. Mapa del análisis espacial del cambio de cobertura forestal entre 1985-2025 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	84
Anexo 7. Mosaico del paisaje y esquema de clasificación tripolar basado en el análisis AND (Agriculture, Natural, Developed), en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	85
Anexo 8. Composición del mosaico del paisaje según dominancia, diversidad e intensidad, del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	86
Anexo 9. Mapa de fragmentación de las coberturas boscosas del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.....	87
Anexo 10. Mapa del modelo de distribución de las especies del grupo de mamíferos terrestres no voladores registrados en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.....	88
Anexo 11. Mapa de distribución espacial de patrones del paisaje en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.....	89
Anexo 12. Propuesta de los mecanismos de conectividad ecológica en el paisaje agropecuario del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.	90

Resumen

San Carlos de Guaroa se caracteriza por una economía agropecuaria, con más del 50% de su territorio destinado al cultivo de palma de aceite, arroz y ganadería, lo que lo posiciona como uno de los principales productores en el país. Sin embargo, estos sistemas productivos han jugado un papel en la transformación del paisaje desde el siglo XX, generando una significativa reducción de las coberturas naturales. De ahí que, este estudio busca proponer mecanismos de conectividad ecológica como estrategia de conservación en paisajes agropecuarios. Para ello, se desarrolló una metodología mixta con sistemas de información geográfica y análisis participativo.

Como resultado, la cobertura de palma de aceite se multiplicó por 13, al aumentar del 2.5% al 34.6%, entre 1985 y 2025. Mientras que las coberturas de bosques de galería y bosques densos altos de tierra firme registraron una pérdida de 14.1%. Los análisis del paisaje mostraron un aumento en la fragmentación, al reducirse en 1.88% la conectividad y en un 49% las categorías asociadas a baja intervención. Adicionalmente, se identificó una baja heterogeneidad con afectaciones hacia el noreste, centro sur y sureste del municipio. Esto fue relacionado por los actores con la dinámica económica agropecuaria que se desarrollan en más del 70% del municipio. Por otra parte, se determinaron 1,462 parches, de los cuales se seleccionaron 21 parches como área núcleo, que representan el 57% de las coberturas boscosas. Con lo cual se identificaron rutas óptimas junto con variables bióticas, abióticas y antrópicas, alineados a los lineamientos de la normatividad territorial que corresponden a 19 corredores ecológicos. Presentan un patrón hacia el sector noreste que registró una alta idoneidad ecológica, distribuidas a lo largo de los cuerpos de agua, lo que permite su implementación a través de la recuperación de las rondas hídricas.

Finalmente, con lo anterior se propusieron dos tipos de mecanismos. El primero, relacionado con la estructura ecológica del paisaje: restauración activa y pasiva con especies nativas, cercas vivas, sistemas agroforestales y pasos de fauna. El segundo, con las prácticas sostenibles en los sistemas agropecuarios y sensibilización ambiental. Este estudio aporta insumos técnicos y cartográficos que facilitan la incorporación de la conectividad en la planificación municipal y orienta los esfuerzos de conservación para una gestión más eficiente del territorio.

Palabras Clave: conectividad ecológica, corredores, fragmentación, ordenación del territorio, paisaje.

Abstract

San Carlos de Guaroa is characterized by an agricultural-based economy, with more than 50% of its territory devoted to oil palm cultivation, rice, and livestock, positioning it as one of the main producers in the country. However, these production systems have played a significant role in transforming the landscape since the 20th century, leading to a substantial reduction in natural cover. Therefore, this study aims to propose ecological connectivity mechanisms as a conservation strategy in agricultural landscapes. To this end, a mixed methodology was developed, integrating geographic information systems and participatory analysis.

As a result, oil palm coverage increased thirteenfold, rising from 2.5% to 34.6% between 1985 and 2025, while gallery forests and tall dense upland forests recorded a 14.1% loss. Landscape analyses revealed an increase in fragmentation, with connectivity reduced by 1.88% and low-intervention categories decreasing by 49%. Additionally, low heterogeneity was observed, with impacts concentrated in the northeast, central-southern, and southeastern areas of the municipality. According to local stakeholders, these changes are mainly linked to the agricultural economy, which occupies over 70% of the territory. A total of 1,462 patches were identified, of which 21 were selected as core areas, representing 57% of the forest cover. Optimal routes were determined considering biotic, abiotic, and anthropic variables, aligned with territorial planning guidelines, resulting in the identification of 19 ecological corridors. These corridors display a pattern toward the northeastern sector, an area of high ecological suitability, distributed along water bodies, making their implementation feasible through the restoration of riparian buffers.

Finally, two types of mechanisms were proposed. The first focuses on strengthening the ecological structure of the landscape through active and passive restoration with native species, live fences, agroforestry systems, and wildlife crossings. The second relates to promoting sustainable practices in agricultural systems and environmental awareness. This study provides technical and cartographic inputs that facilitate the integration of ecological connectivity into municipal planning and guide conservation efforts toward more efficient territorial management.

Keywords: ecological connectivity, corridors, fragmentation, territorial planning, landscape.

Introducción

Colombia cuenta con una enorme riqueza natural y ocupa el tercer lugar en diversidad biológica a nivel mundial, con 79.828 especies, después de Brasil e Indonesia. Se estima que 8.497 de estas especies son endémicas (SiB Colombia, 2025). Esta biodiversidad conforma complejos ecosistemas, que se configuran gracias a la variabilidad topográfica y las condiciones climáticas del país. Siendo fundamentales para el sostenimiento de algunos servicios ecosistémicos, que satisfacen las necesidades básicas de diversas comunidades humanas (Rangel-Ch, 2015). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, siglas en inglés), los bienes proporcionados por la naturaleza se valoran en aproximadamente 125 billones de dólares al año (FAO, 2023). Por ello, en las últimas décadas ha cobrado mayor relevancia la protección de áreas naturales, en relación con el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de la biodiversidad.

A pesar de que la biodiversidad colombiana está estrechamente relacionada con la riqueza cultural, existe una pérdida irreversible relacionada con las acciones humanas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH], 2024). La pérdida de hábitats ha sido una de las principales causas de amenaza y extinción local de especies, resultado de procesos como la deforestación, la expansión de la frontera agropecuaria, la urbanización, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales (G. Andrade & Castro, 2012; M. Andrade, 2011). Durante el siglo XX, la intensificación de estas actividades antrópicas para impulsar el crecimiento económico del país fue el principal motor del cambio de uso del suelo. Extensas áreas naturales fueron transformadas para implementar monocultivos o sistemas pecuarios que cubrieran la demanda del mercado nacional e internacional (Sevilla, 1997). Tan solo en el 2021 se habían deforestado 174.103 ha de bosque que aumentaron 1,5% respecto al año anterior, donde las mayores cifras de deforestación se concentraron en los departamentos de Meta, Caquetá, Guaviare, Putumayo, Norte de Santander y Antioquia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2022).

En el caso de San Carlos de Guaroa, el desarrollo de la frontera agrícola acrecentó estas dinámicas, inicialmente con el establecimiento de cultivos de arroz, posteriormente su reemplazó en gran parte por la palma de aceite (Rojas & Castiblanco, 2018). Actualmente, esta última predomina con una extensión de más del 50% de la superficie del municipio, siendo la principal

actividad económica (Secretaría de Planeación, 2024). Sin embargo, esto ha generado un paisaje compuesto por usos agropecuarios con remanentes naturales (García & Díaz, 2020). Autores como Acosta & Casallas (2019) y J. Rojas & Castiblanco (2018), han destacado la pérdida de bosques riparios en el municipio, asociándolos al establecimiento de monocultivos.

Lo anterior ha sido documentado globalmente, como una causa del deterioro ambiental, pues conlleva a la transformación de grandes extensiones de tierra, que alteran la estructura y funcionamiento de los procesos ecológicos, y reducen la ocupación de las áreas naturales, lo que provoca la fragmentación (Henson, 1995; Marún-Uparela *et al.*, 2023; Pardo, & Ocampo-Peña, 2019; Sajbin, 2024). Como consecuencia, se aíslan las poblaciones, limitan la movilidad, rompen las relaciones tróficas y reducen la diversidad genética (Arasa *et al.*, 2021; Baguette & Van Dyck, 2007). Lo que las convierte en áreas degradadas, sin capacidad de mantener las dinámicas ecológicas necesarias para garantizar los servicios ecosistémicos (Hilty *et al.*, 2019; Navarro *et al.*, 2015).

No obstante, frente al deterioro ambiental creciente, a nivel global han suscitado el fomento de estrategias encaminadas a la recuperación y mantenimiento de la biodiversidad. A pesar de esto, no reciben la atención, ni la inversión suficiente en la ordenación territorial (FAO, 2023). Así mismo en el país, la débil capacidad institucional en el ordenamiento de los territorios, dificulta la protección efectiva de las áreas naturales (G. Andrade & Castro, 2012). Es por lo anterior, que la presente investigación pretende abordar la problemática de pérdida de coberturas naturales, producto de la transformación del paisaje agropecuario en el municipio de San Carlos de Guaroa, a través de la conectividad ecológica. La cual ha sido planteada como una estrategia de solución a los desafíos de conservación en ambientes transformados. Propuesto en muchos casos de planificación como medida contra la fragmentación. Además de una herramienta factible de implementación en zonas rurales, suburbanas y urbanas (Bennett, 2004).

1 Planteamiento del problema

El uso del suelo de San Carlos de Guaroa tiene predominio en la economía agropecuaria, con los cultivos de palma de aceite, arroz de riego y arroz seco mecanizado (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023), así como la ganadería (Secretaría de Planeación, 2024), los cuales abarcan más del 50% del territorio. De acuerdo con la cifra más actualizada reportada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma, 2025) para el año 2020, la palma ocupaba el 38% de la superficie del municipio, con 27.151 ha en producción y 3.879 ha en desarrollo. Lo que lo posicionó como el tercer municipio del país con mayor área destinada a este cultivo. Por otra parte, el cultivo de arroz, en el año 2023 ocupaba 6.483 ha sembradas, correspondiente al 8% del territorio (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] & Federación Nacional de Arroceros de Colombia [Fedearroz], 2024). En cuanto a la ganadería, con un inventario total 4.030 bovinos bajo sistema extensivo, equivalente aproximadamente al 5% del territorio (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2025). Mientras que áreas naturales como bosques y herbazales ocuparon tan solo el 17% en el 2019 (Acosta & Casallas, 2019).

Estos sistemas productivos han jugado un papel clave en las transformaciones del paisaje en el municipio. De acuerdo con J. Rojas & Castiblanco (2018), entre 1985 y 2016, San Carlos de Guaroa presentó la mayor transformación del uso del suelo. Este cambio estuvo relacionado principalmente con el establecimiento del cultivo de palma de aceite, impulsado por la apertura económica y el fomento de incentivos del gobierno para la producción de agrocombustibles (Devia & Piñeros, 2021; Sevilla, 1997). Hecho en el que surgieron importantes núcleos palmeros (Palmar de Manavire, Palmar El Borrego, Palmas El Morichal y Yaguarito) que han expandido su cultivo en la región (Fedepalma, 2025). Cabe resaltar que anteriormente el suelo del municipio, por su relieve plano, había sido destinado a la ganadería y al cultivo de arroz. Sin embargo, tras la crisis arrocera en los años 80, en 1981 inicia el establecimiento del monocultivo de palma, en el que se reemplaza gran parte del cultivo de arroz (Acosta & Casallas, 2019; Fedepalma, 2025).

De ahí que el municipio se posiciona como uno de los mayores productores de aceite crudo de palma. El año 2011 fue de gran importancia para este cultivo, la cual pasó de 33.600 ha en su año anterior, a 47.403 ha. Así mismo, registró la mayor área cosechada con 38.600 ha, la mayor producción total de 115.800 toneladas y un rendimiento de 3 ton/ha. Sin embargo, a pesar de las

bajas registradas entre el área cosechada y la producción, se mantuvo un área sembrada de 46.535 ha hasta el año 2018. A partir del año 2019 se ha registrado una disminución aproximada de 20.000 ha. Es por lo que, en el año 2023, se registra cifras de 24.707 ha de área sembrada, 12.182 ha de área cosechada y una producción de 43.855 toneladas, que lo mantienen como un importante productor en el país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura], 2024). Actualmente, cuenta con cuatro plantas de beneficio activas: Aceites Manuelita S.A., Aceites Morichal S.A.S., Inversora La Paz S.A.S., y Servicio de Maquila Agrícola de los Llanos S.A.S (Fedepalma, 2025).

De manera que, como respuesta a estas dinámicas agrícolas se generó un sistema de paisajes en los que se destacan las actividades agropecuarias con remanentes de ecosistemas (García & Díaz, 2020). En el que presentó una pérdida de las coberturas naturales como bosques riparios, que disminuyeron un 59% y los herbazales un 49% (Acosta & Casallas, 2019). De igual manera, se resalta una reducción del 19,38% de los bosques de galería entre 1985 y 2016, con una tasa anual de deforestación de 3,22%, equivalente a 59 ha por año (Rojas & Castiblanco, 2018).

De manera paralela, se han identificado impactos negativos asociados a estos sistemas agropecuarios en el municipio como disminución del caudal de fuentes hídricas causado por sistemas de riego que carecen de control sobre los canales de drenajes, deforestación en rondas hídricas que ocasionan la pérdida de barreras naturales que regulan el flujo de agua y contaminación relacionada con el uso periódico de agroquímicos como pesticidas y herbicidas en los monocultivos (Daza, 2019; Rojas, 2016). A nivel global, también destacan efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y en la ecología de la macrofauna edáfica en el suelo (Pérez & Pérez, 2023). A esto se suma, el deterioro ambiental causado por la intensificación de los cultivos asociado al cambio del uso del suelo de grandes extensiones (Henson, 1995).

Desde el punto de vista ecológico, lo anterior incrementa los procesos de fragmentación de la vegetación natural. Genera parches aislados, que se incrementan con la disminución de los flujos de materia y energía. Que, a su vez, provoca la reducción de las poblaciones de especies, al generar el efecto de islas (Hilty *et al.*, 2019). El aislamiento de los fragmentos dificultan la movilidad de las poblaciones y reducen la diversidad genética (Baguette & Van Dyck, 2007; MacArthur & Wilson, 1967). Como consecuencia, ocasiona un desequilibrio en los ecosistemas, creando una red trófica simple con menos especies, principalmente generalistas. Donde especies de hábitats especialistas o de baja movilidad son las más afectadas, pues no sobreviven a las nuevas

condiciones. De igual modo, conlleva a otros problemas como migración y generación de conflictos en nuevos hábitats, alteración de ciclos de reproducción, deficiencia en la polinización, inadecuada dispersión de semillas, falta de control natural de poblaciones y dispersión de plagas (Altieri, 2009; Pardo, & Ocampo-Peña, 2019). De manera que esto no solo afectan a la diversidad biológica y los recursos naturales, sino también a las comunidades humanas. Dado que repercute en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Díaz *et al.*, 2019). En especial, por la alta demanda de agua, la cual se ve afectada en cantidad y calidad debido a la pérdida de regulación hídrica del suelo (Marún-Uparela *et al.*, 2023; Pertuz & Santamaría, 2014; Sajbin, 2024).

En cuanto a el Esquema de Ordenamiento Territorial de San Carlos de Guaroa (Acuerdo 020 de 2015) menciona que el municipio no cuenta con ningún tipo de área natural protegida registrada en el SINAP, zonas protegidas declaradas conforme en el Decreto 2372 de 2010, Reservas Forestales Nacionales de Ley 2 de 1959 o Reservas Naturales de La Sociedad Civil. Únicamente se establecen como áreas de conservación y protección de los recursos naturales, aquellas que hace parte de la estructura ecológica principal; así como, áreas de especial importancia ecosistémica a los nacimientos de agua, humedales, pantanos, lagos y lagunas, y las rondas de protección hídrica (Art. 172 y 174 del Acuerdo 020 de 2015). Pese a las medidas establecidas para la protección de las coberturas naturales, existe una fuerte influencia sobre estas, como lo evidencia Acosta & Casallas (2019), gran parte de las franjas de las rondas hídricas carecen de cobertura boscosa. Por ello, surge la necesidad de proponer estrategias que contribuyan a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad en el paisaje transformado del municipio.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cómo articular los mecanismos de conectividad ecológica como estrategia de conservación de las coberturas naturales en paisajes agropecuarios del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta?

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Proponer mecanismos de conectividad ecológica como estrategia de conservación en paisajes agropecuarios mediante articulación ambiental, rural y normativa en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.

2.2 Objetivos específicos

Identificar los procesos de fragmentación de las coberturas naturales en el paisaje agropecuario del municipio de San Carlos de Guaroa.

Analizar las causas y agentes de la fragmentación de las coberturas naturales desde el ámbito social y ambiental del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.

Formular mecanismos de conectividad ecológica de acuerdo con las dinámicas sociales y ambientales identificadas, orientado a la gestión de zonas con alta fragmentación en articulación con los instrumentos de planificación del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.

3 Justificación

La conservación de la biodiversidad en el país es clave para enfrentar la creciente pérdida de los ecosistemas naturales y, por consiguiente, la disminución de servicios ecosistémicos. De acuerdo con la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (MinAmbiente, 2012), reconoce la fragmentación como una amenaza crítica para la conservación. Es por esto que fomenta la gestión de la conectividad ecológica de los ecosistemas en la planificación territorial desde la perspectiva de paisaje.

El estudio de la conectividad ecológica en el contexto local resulta especialmente relevante, dado que el municipio no cuenta con áreas protegidas oficialmente establecidas y los procesos de ocupación del territorio han estado centrados en la expansión agroindustrial. Esto resalta la preocupación por la conservación en el territorio, pero aún más la necesidad de atención para la adopción de estrategias que promuevan la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en paisajes agropecuarios, mediante la gestión de la conectividad como herramienta de conservación. Lo que lo hace un escenario idóneo para la articulación de la conservación y la producción económica, que beneficie tanto a las comunidades como a la biodiversidad.

Por tanto, la gestión del territorio en zonas agropecuarias debe promover la conectividad a nivel local. Es necesario comprender que la conservación no solo depende de la protección de áreas aisladas, sino de la interconexión funcional entre ellas. En este sentido, la conectividad ecológica debe ser vista como una estrategia de ordenamiento que permite conservar la biodiversidad, mitigar los efectos de la fragmentación, asegurar la sostenibilidad de los paisajes y garantizar los servicios ecosistémicos que benefician tanto a la naturaleza como a la sociedad.

De manera que el objetivo de esta investigación busca aportar al diseño de estrategias de conservación en paisajes predominantemente agropecuarios, mediante el fortalecimiento de la conectividad ecológica. En ese sentido, pretende servir como base para orientar los procesos de planificación territorial en el municipio, al reconocer áreas de importancia para la conservación. Así mismo, enfocar los esfuerzos hacia zonas prioritarias de restauración focalizadas en los corredores ecológicos que aquí se proponen.

4 Antecedentes

La conversión de los ecosistemas naturales debido a los diferentes usos del suelo asociados a las actividades antrópicas, ha incrementado la pérdida de conectividad entre ellas. En las últimas décadas, una progresiva toma de conciencia sobre la conservación de la naturaleza, ha puesto en manifiesto un gran consenso de estrategias orientadas a la protección de los ecosistemas. Una de ellas, la conectividad ecológica que surgió como herramienta clave en la planificación del territorio con efectos positivos ante la fragmentación de hábitats y la conservación de la biodiversidad en paisajes altamente transformados (Leija & Mendoza, 2021). La cual se define como el movimiento de especies y el flujo de materia y energía entre áreas naturales, necesarios para el sostenimiento de los procesos ecológicos y biológicos (Hilty *et al.*, 2021).

La conectividad se propone como una alternativa complementaria a las áreas protegidas, dado que su manejo deficiente o ubicación poco estratégica, en muchos casos no conservan la biodiversidad de un territorio de manera efectiva. Por lo cual estas áreas terminan aisladas de otras, lo que aumenta aún más el riesgo de extinción debido a la falta de intercambio genético entre poblaciones (Hilty *et al.*, 2021; MacArthur & Wilson, 1967). A esto se suma, el aumento en la escasez de nuevas áreas protegidas (Salom *et al.*, 2010). Por ello, diversos autores destacan la conectividad más común mediante corredores ecológicos como una opción óptima para la conservación de áreas inmersas en coberturas transformadas en diferentes escalas local, regional y global (Hilty *et al.*, 2021).

En América Latina, los estudios de conectividad han adquirido relevancia como herramienta para la conservación frente a los fenómenos de deforestación, fragmentación y cambio climático. Leija & Mendoza (2021) en una revisión bibliográfica de investigaciones entre los años 2000 y 2018, encontraron un aumento significativo de publicaciones a partir del 2007, en especial en los países de Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia. Esto relacionado con la alta riqueza de bosques y biodiversidad en esta zona del planeta. Pero también, por la acelerada pérdida de coberturas boscosas. Razón por la cual, la mayoría de los estudios se enfocaron en la conectividad asociada a la planificación con el especial objetivo de restaurar y/o conservar. Aunque el concepto en el contexto latinoamericano es aún incipiente, subraya la necesidad de implementarlo en la distribución del uso del suelo, especialmente en áreas con altas tasas de deforestación.

Un caso representativo es el Corredor Biológico Mesoamericano, iniciativa planteada para la interconexión de áreas protegidas y hábitats naturales desde México hasta Panamá. Su objetivo es mejorar la conectividad de los ecosistemas, para permitir el flujo de especies y a su vez conservar la biodiversidad, en territorios fragmentados con múltiples usos del suelo. El cual ha demostrado ser eficaz en algunas zonas de México y Costa Rica. Esto evidencia como la conectividad ecológica ayuda a reducir la fragmentación del paisaje, permitiendo el intercambio genético entre poblaciones de especies. Hecho que refuerza el concepto de que los ecosistemas interconectados son más resilientes, capaces de sostener poblaciones saludables y por ende la generación de servicios ecosistémicos (Leija & Mendoza, 2021; Robles, 2009). Así mismo, se resalta el Corredor ecológico Llanganates-Sangay ubicado en Ecuador, el cual conecta dos parques nacionales del mismo nombre, abarcando 90 mil ha aproximadamente. De acuerdo con Ríos & Reyes (2015), aunque no existe una evaluación formal de la efectividad de la conectividad, su integridad asumida a través de registros cartográficos, lo viabilizan para ser declarado como Régimen Especial de Administración Territorial.

Igualmente, se destaca el Corredor del Jaguar, una iniciativa internacional, que abarca la conectividad a gran escala de áreas boscosas en Centroamérica y Suramérica a través de rutas de dispersión de bajo costo, con el fin de asegurar la supervivencia de los felinos a largo plazo. A través de este se pretenden dirigir los esfuerzos de conservación en zonas con prácticas económicas sostenibles, donde su implementación sea viable (Rabinowitz & Zeller, 2010; Salom *et al.*, 2010). En Colombia, para esta iniciativa se han identificado diez corredores a lo largo del país (Payán & Hildebrand, 2015). Otro ejemplo es en México, donde la conectividad ecológica ha tomado importancia con el objetivo de contribuir al cambio climático y la resiliencia de los ecosistemas ante las altas condiciones de vulnerabilidad del país. La cual se busca reestablecer mediante corredores biológicos. Para esto han identificado áreas prioritarias de conservación y conectividad con base en un grupo de mamíferos terrestres. Con lo cual se intentan dirigir los esfuerzos del gobierno y otros actores, al establecer la conectividad dentro de las líneas de acción prioritaria frente a los impactos climáticos (INECC, 2012).

En cuanto al contexto nacional, aunque el tema aún está en proceso de consolidación, con una notable escasez de investigaciones técnicas y lagunas significativas en el marco jurídico nacional (Carvajal, 2021), se han desarrollado múltiples propuestas orientadas a su implementación. Por ejemplo, se han priorizado ocho corredores de conectividad ecológica que

buscan conectar los Andes, la Amazonia y la Orinoquia, interconectando las áreas protegidas de los Parques Nacionales Naturales Serranía de Chiribiquete, La Paya y Río Puré, las Reservas Nacionales Naturales Nukak y Puinawai, y el Área de Manejo Especial de La Macarena (AMEM) (MinAmbiente *et al.*, 2020). De manera similar, Linero-Triana *et al.* (2023) en su estudio realizó una propuesta de corredores entre áreas protegidas en el país con base en múltiples especies de aves, enfatizando en sitios críticos para la conservación.

Así mismo, Jiménez (2022) planteó un modelo de corredores de conectividad de bosques de galería remanentes en el municipio de Valparaíso, Caquetá. Por otra parte, Colorado *et al.* (2017) sugirió un modelo de conectividad mediante una red que conecta fragmentos de bosque en un corregimiento en Medellín. De igual manera, Herrera *et al.* (2022) realizó el diseño de corredores ecológicos focalizados en la conservación de mamíferos en los departamentos de Arauca y Casanare. Mientras que, otros autores (Forero-Gómez *et al.*, 2020; Isaacs-Cubides *et al.*, 2017; Moyano *et al.*, 2022) han enfocado sus análisis en el estado de la conectividad de áreas naturales en diferentes zonas del país.

En resumen, aunque los estudios en torno a la conectividad ecológica son cada vez más frecuentes y de gran importancia para dirigir los esfuerzos de conservación en los territorios, su aplicación aún es limitada. En el caso del municipio de San Carlos de Guaroa no se encontraron trabajos que aborden específicamente este tema. Por lo que, la presente investigación busca generar insumos que orienten las acciones de conservación en el paisaje agropecuario del municipio mediante el fortalecimiento de la conectividad. Esto se fundamenta en las ventajas resaltadas por Hilty *et al.* (2021) respecto a otras estrategias, que incluye bajo costo de inversión, mayor viabilidad técnica y facilidad en la implementación, siempre que exista articulación y cooperación entre los diferentes actores del territorio para garantizar su efectividad.

5 Marco de referencia

5.1 Marco teórico

5.1.1 Conectividad ecológica

Los ecosistemas son una red dinámica de interacciones biológicas, químicas y físicas que sustentan una comunidad y le permiten responder a las condiciones ambientales. En estos existe un flujo constante de energía y materia que se mueve entre organismos y el ambiente a través de interacciones y funciones. Las formas que se distribuyen las especies y la cantidad de recursos disponibles en un ecosistema son esenciales para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Miller, 1994).

Para asegurar el funcionamiento de los ecosistemas es importante propender por la conectividad ecológica. El concepto se introdujo por primera vez por (Merriam, 1984), quien lo describió como la interacción entre los atributos del movimiento y la estructura del paisaje que influye en el movimiento y permanencia de las poblaciones en un área determinada. Posterior al auge de la ecología del paisaje, otros autores lo establecieron como el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento de recursos entre zonas (Taylor *et al.*, 1993) o como la relación funcional y el movimiento de organismos entre parches de hábitats en un paisaje (With, 1997). Todos destacan la capacidad que tienen los paisajes de interconectar sus ecosistemas entre si permitiendo el flujo de elementos y poblaciones de especies con direccionalidad a través de corredores (Sarmiento, 2000).

Cabe resaltar que dichos desplazamientos son realizados por las poblaciones en búsqueda de alimento, refugios, en épocas de reproducción o migración. Por lo cual la ruptura de la conectividad natural pone en juego la existencia de las poblaciones, el rol de las mismas y el mantenimiento de los procesos ecológicos. Pues más probable la preservación en el tiempo de hábitats interconectados, que fragmentos dispersos y aislados (Bennett, 2004).

Es de resaltar que la conectividad se concibe como un proceso horizontal y vertical. El primero se refiere los procesos físicos, biológicos y ecológicos. Los cuales se ven alterados por infraestructuras humanas como las vías de transporte, lo que genera tensiones localizadas en la red ecológica. Mientras que el segundo, abarca la interacción de la estructura del paisaje y los factores

socioeconómicos, como lo son los paisajes agropecuarios compuestos por una matriz con diversos usos del suelo. Este último, evidencia la relación paisaje-socioeconomía, como el paisaje puede ser ordenado en un plano cuya variación depende de variables que configuran el territorio (F. Díaz & Schmitz, 2011).

En las últimas décadas, el término ha adquirido mayor relevancia, debido al aumento de la pérdida y fragmentación de los ecosistemas. Esta situación provocó el desequilibrio en los procesos ecológicos y la extinción local de especies. Lo que generó gran preocupación por la protección de los recursos naturales. Ante esto, se han promovido estrategias que implican la conectividad ecológica como medida para mitigar los efectos negativos. Tal es el caso del diseño de corredores ecológicos, la implementación de infraestructura verde y la integración de criterios de conectividad en los instrumentos de ordenamiento ambiental y territorial (Leija & Mendoza, 2021).

5.1.2 Fragmentación del paisaje

La fragmentación emerge como uno de los conceptos más significativos en las discusiones sobre la transformación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. Se ha puntualizado como el proceso en el que una gran extensión de hábitat se transforma en una serie de parches más pequeños, aislados entre sí, por una matriz diferente a la original (Fahrig, 2003). Es decir, es la subdivisión de la vegetación natural (Bennett & Saunders, 2010). En el contexto de una matriz homogénea, se interpreta como el aumento de la porosidad y la heterogeneidad con la aparición gradual de parches perturbados (Briceño, 2023). En este sentido, se destacan tres componentes clave de los procesos de fragmentación: la pérdida, la reducción y el aislamiento de los hábitats (Bennett, 2004).

Es importante resaltar que cuando la fragmentación es originada por procesos antrópicos, genera parches aislados que a menudo no cuentan con la capacidad de mantener los procesos naturales. En dichas áreas ocurre lo que describió (MacArthur & Wilson, 1967) como la teoría de la biogeografía de islas, donde las especies se mantendrían constantes por un tiempo, hasta que la composición, estructura y condiciones favorezcan a unas especies más que otras e inicien variaciones que resultan en extinciones. En otras palabras, tiene efectos de homogeneización en la composición y en los patrones de abundancia de las comunidades biológicas (Gurrutxaga &

Lozano, 2006). De igual forma, el efecto de borde ocasiona presión sobre estos parches, que tienden a disminuir su tamaño y reducir la capacidad de carga ecológica (Gurrutxaga & Lozano, 2006; Navarro *et al.*, 2015).

Una de las causas más frecuentes de la fragmentación es la deforestación, la cual elimina la cobertura natural e interrumpe la continuidad entre ecosistemas. Este fenómeno se presenta con intensidad y es un gran desafío que enfrenta la Amazonia, ocasionado principalmente por la expansión agropecuaria y el desarrollo de infraestructura vial. El patrón de fragmentación en esta región no ha sido uniforme, más bien se ha concentrado a lo largo de carreteras o ríos, lo que genera divisiones de la cobertura boscosa. Esto promueve el aislamiento de los fragmentos boscosos en medio de una matriz transformada, la cual actúa como una barrera que impide el desplazamiento de especies y el flujo genético entre poblaciones. A mayor afectación, menor será el tamaño de los parches de bosque, lo cual impacta en el mantenimiento de las poblaciones (Berenguer *et al.*, 2024).

Cabe resaltar que los efectos de la fragmentación varían según la sensibilidad de las especies e implican alteraciones tanto a nivel ecológico como genético. El aislamiento de las poblaciones reduce el flujo genético, disminuye la deriva genética y aumenta la endogamia entre individuos. Esto deriva una pérdida de la variabilidad genética y disminución de la capacidad adaptativa de la especie (Schlaepfer *et al.*, 2018). Afecta particularmente, especies con bajas densidades, baja fertilidad, requerimientos de extensas áreas de desplazamiento, dependientes de hábitats específicos, fuentes de alimento particulares o estacionales y/o baja capacidad de dispersión, como algunos mamíferos, anfibios y reptiles. En cuanto a la reproducción, la fragmentación altera los ciclos reproductivos e impide el acceso a parejas sexuales, lo que representa un riesgo para la recuperación poblacional. De igual manera, el comportamiento es clave en la capacidad de respuesta ante eventos de disturbio, pero también en los patrones de desplazamiento y migración (Gurrutxaga & Lozano, 2006).

Sin embargo, las consecuencias de la fragmentación no solo afectan las especies, sino que influyen en la pérdida progresiva de servicios ecosistémicos, pues cada elemento en los ecosistemas cumple una función en los procesos ecológicos. De manera que la intensidad de las perturbaciones antrópicas, puede progresivamente disminuir la cobertura vegetal y alterar la estructura del paisaje. Cabe resaltar que esto depende de la escala espacial y temporal en la que

ocurre la fragmentación. Siendo un importante problema en el manejo y conservación de los ecosistemas (Berenguer *et al.*, 2024; Santos & Tellería, 2006).

Frente a la fragmentación, surge la conectividad ecológica como una estrategia para recuperar los flujos ecológicos. De manera que facilitan el desplazamiento de especies. En este sentido, el diseño de corredores ecológicos y otras formas de conectividad funcional representan una alternativa efectiva para contrarrestar los impactos ecológicos y asegurar la resiliencia de los paisajes fragmentados.

5.1.3 Corredores ecológicos

Son un elemento del paisaje, que han sido definidos como lineales por considerarse franjas estrechas y continuas, que permiten la conexión entre parches de hábitats, en el interior de una matriz inhóspita en el que predominan sistemas antrópicos (Beier & Noss, 1998; Rosenberg *et al.*, 1997; Tischendorf & Fahrig, 2000). Gracias a su funcionalidad se utilizan para mejorar la conectividad ecológica en paisajes fragmentados pues mantienen la viabilidad de poblaciones, el desplazamiento y el intercambio genético entre hábitats. Esto contribuye en la conservación de la diversidad biológica y los procesos ecológicos de los ecosistemas (Ament *et al.*, 2014).

El mejoramiento de la conectividad mediante corredores ecológicos ha sido aplicado en muchos casos de conexión entre parches. Algunos pueden tener un enfoque basado en especies como el corredor ecológico del jaguar (Payán & Hildebrand, 2015) y otros se basa en la protección de las especies, el recurso hídrico y los servicios ecosistémicos (F. Díaz & Schmitz, 2011). Es por esto que la conectividad ecológica como herramienta clave para la conservación en zonas altamente fragmentadas permite garantizar a largo plazo la conservación de la biodiversidad, el flujo de material genético, la mitigación del aumento de la fragmentación, la adaptación al cambio climático y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, esto desde la creación de corredores ecológicos que conecten áreas naturales (Bennett, 2004; Navarro *et al.*, 2015).

5.1.4 La conectividad en el ordenamiento territorial

La integración de la conectividad ecológica en el ordenamiento territorial ha sido planteada como una nueva estrategia de conservación para contrarrestar la pérdida de biodiversidad. De

acuerdo con M. Gurrutxaga & Lozano (2009) la planificación tradicional del territorio se ha centrado en la delimitación de áreas protegidas, las cuales a menudo son aisladas y terminan siendo poco efectivas para el adecuado funcionamiento de los procesos ecológicos y biológicos. De ahí que, en la última década la planificación ecorregional priorice los esfuerzos, más allá de las áreas protegidas, a mantener los flujos de especies en el total del paisaje. Esta conexión se ha presentado en los denominados corredores ecológicos, como elementos que permiten dicha movilidad de especies e intercambio genético.

Igualmente, los estudios de conectividad han sustentado desde el ámbito técnico y ecológico la implementación de corredores dentro de los planes de ordenamiento. Los cuales han demostrado teóricamente que mitigan los efectos de la fragmentación (Vela & Marín, 2013). Es por esto que se propone la integración de la conectividad en políticas públicas e instrumentos de ordenamiento que orienten la toma de decisiones sobre los territorios (Gurrutxaga & Lozano, 2007). Sin embargo, su efectividad, dependerá no solo de aspectos ecológicos y biológicos, sino también de factores sociales, políticos y culturales. Asimismo, es necesaria la participación directa de las comunidades (Vela & Marín, 2013).

5.2 Marco normativo

El ordenamiento territorial en el país ha tenido una fuerte influencia por el sector económico y en este ha predominado en torno a la organización del territorio y los equipamientos, lo que ha llevado un manejo inadecuado de las áreas naturales. A esto se suma, la desactualización de los planes de ordenamiento territorial (POT), cerca del 83% de los municipios en Colombia no han realizado actualizaciones (Montes, 2018). Lo que conlleva a que no se establezcan directrices sobre la realidad del territorio que garanticen un adecuado ordenamiento y protección de los recursos naturales (Acosta & Casallas, 2019). En cuanto al municipio de San Carlos de Guaroa cuenta con esquema de ordenamiento territorial (EOT) correspondiente al año 2015, por lo que aún se encuentra vigente hasta el año 2031 (Acuerdo 020 de 2015).

De acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio establece franjas de protección hídrica sobre los cuerpos de agua de mínimo 30 m a cada lado medidos a partir de la cota máxima de inundación según lo establecido en el artículo 83 literal d. del Decreto 2811 de 1974. Las cuales no podrán ser intervenidas, excepto en procesos de restauración o regeneración

natural. Sin embargo, las medidas de protección dirigidas a las fuentes hídricas y ecosistemas estratégicos parecen no ser efectivas como lo evidencia (Acosta & Casallas, 2019) pues gran parte de las ellas no presentan cobertura boscosa.

En cuanto al Plan de Desarrollo Territorial del municipio, este presenta estrategias de dimensión ambiental encaminadas a “Mantener los recursos y el potencial natural del territorio, considerando los ecosistemas estratégicos como elementos ordenadores” y fomenta “Desarrollar mecanismos que posibiliten las compensaciones necesarias para la prestación de servicios ecosistémicos ligados al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de las áreas rurales”. Así mismo, establece “Realizar programas de reforestación y conservación de suelos, que permitan mantener y/o incrementar los porcentajes de infiltración de la precipitación y crear cinturones verdes a lo largo de los ríos propiciando del desarrollo de bosques de vocación energética” y “Compra de predios de áreas de significancia ambiental y de alta fragilidad ambiental, reforestaciones en las márgenes de los ríos y un apoyo constante por parte de las instituciones en el cumplimiento de la normatividad”. Los anteriores se resaltan dado que se relacionan con los objetivos del presente estudio.

En cuanto a la normatividad nacional se resalta la siguiente relacionada con la protección del paisaje y los recursos naturales:

Tabla 1. *Normatividad nacional relacionada con la conectividad ecológica.*

Normatividad		Pertinencia al proyecto
Constitución Política de Colombia de 1991 – Art. 79		Reconoce el derecho a un ambiente sano y la obligación del Estado de proteger la diversidad, conservar áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental.
Decreto 3600 de 2007 – Art. 4		Reglamenta las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo. Donde define el suelo de protección en áreas rurales, incluyendo zonas de conservación ambiental, producción agropecuaria sostenible, patrimonio cultural, servicios públicos y áreas de riesgo.
Ley 388 de 1997 – Art. 16	-	La “Ley de Desarrollo Territorial y urbano” define el paisaje como materia de ordenamiento territorial y establece que los planes de ordenamiento territorial deben incluir la protección del medio ambiente, conservación de recursos naturales y defensa del paisaje.
Decreto 2811 de 1974 – Art. 302 y 303		El “Código de Recursos Naturales Renovables” contempla el paisaje como objeto de regulación y protección ambiental. Regula la protección de paisajes urbanos y rurales, determinando zonas de conservación y medidas para evitar su deterioro.

Tabla 1. *Continuación*

Normatividad	Pertinencia al proyecto
Ley 99 de 1993 – Art. 1	La “Ley General Ambiental de Colombia” declara que el paisaje es patrimonio común y debe ser protegido como parte de la política ambiental nacional.
Ley 136 de 1994 – Art. 3	Asigna a los municipios la responsabilidad de garantizar el manejo adecuado de los recursos naturales y el ambiente.
Decreto 1715 de 1978 – Art. 1	Reglamenta parcialmente la protección del paisaje al establecer que el Estado determinará los paisajes que merecen protección, siguiendo criterios ecológicos y culturales.
Decreto 1449 de 1977 – Art. 3 “”	Establece las Franjas de protección hídrica y conservación de los recursos naturales agua y suelo, a mantener las áreas forestales protectoras dentro de predios. “ <i>Los nacimientos de fuentes de aguas en una extensión por lo menos de 100 metros a la redonda</i> ” y “ <i>Una faja no inferior a 30 metros de ancha, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua</i> ”
Decreto 1076 de 2015 - Art. 2.2.3.2.3A.3	Regula la delimitación de rondas hídricas considerando criterios geomorfológicos, hidrológicos y ecosistémicos para garantizar la conectividad de corredores biológicos.

Por otra parte, se presenta un resumen de los principales instrumentos normativos y de política a nivel nacional e internacional que incorporan la conectividad ecológica como un eje estratégico para la conservación de la biodiversidad. Estos marcos orientan las acciones de planificación, manejo y restauración de ecosistemas, promoviendo la articulación de áreas protegidas, la recuperación de paisajes fragmentados y el cumplimiento de compromisos globales en materia ambiental.

Tabla 2. *Instrumentos y compromisos en relación con la conectividad ecológica.*

Instrumento	Descripción
Marco Mundial para la diversidad biológica (Convenio sobre Diversidad Biológica, 2022)	Plantea metas estratégicas para el 2030 y 2050, adoptado en la COP15, en el que se incluye Colombia. La conectividad ecológica se ve reflejada en los objetivos globales para el 2050 y en las Metas 2 y 12 para el 2030. En los que se resalta la necesidad de aumentar la superficie de áreas naturales para reestablecer la conectividad y resiliencia.
Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (MinAmbiente, 2012)	Promotor para la gestión de la conectividad ecológica de los ecosistemas en Colombia

Tabla 2. Continuación.

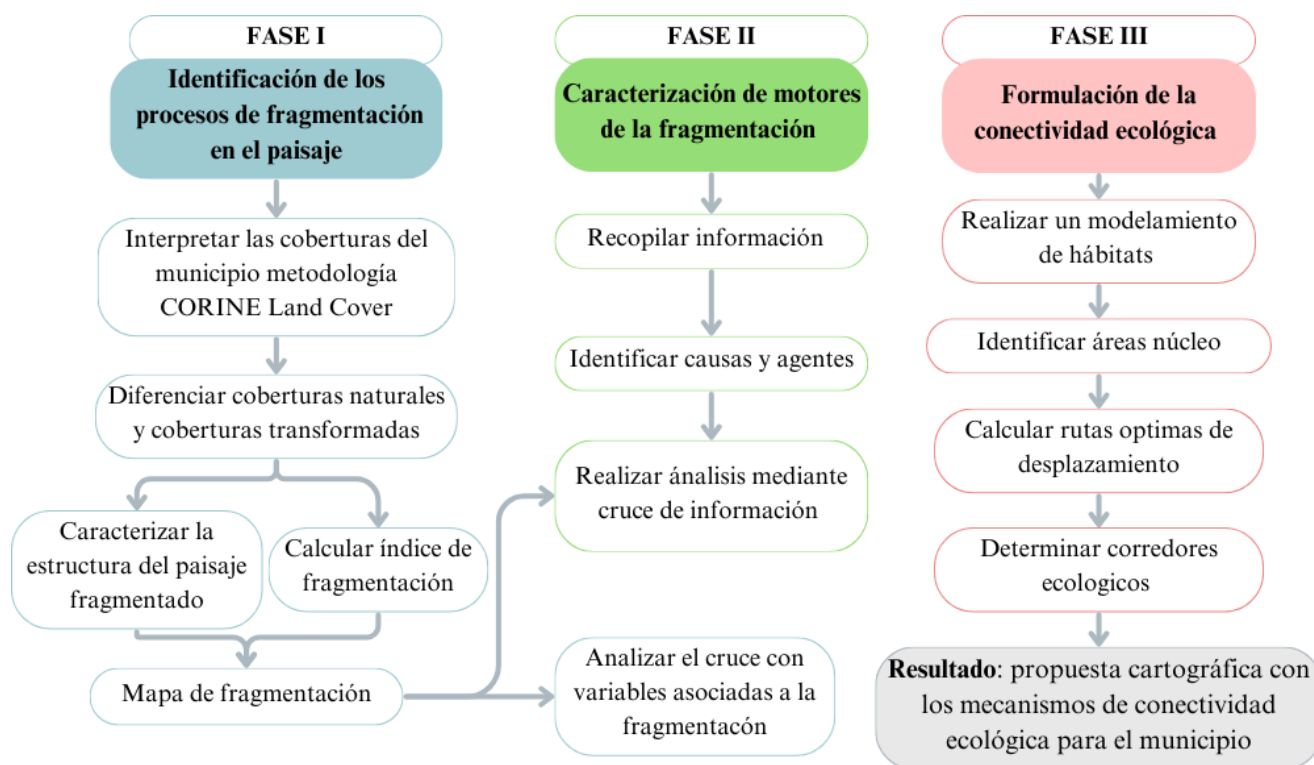
Instrumento		Descripción
CONPES (Departamento Nacional de Planeación, 2021)	4050 de	Este corresponde a la Política para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP, el cual aborda el tema de la conectividad en el objetivo 2 “ <i>Aumentar la conectividad de las áreas protegidas del SINAP en paisajes terrestres y marinos más amplios, con el fin de aportar al logro de los objetivos de conservación del país...</i> ”y establece la “ <i>Estrategia para aumentar la conectividad de las áreas protegidas del SINAP en paisajes terrestres y marinos más amplios</i> ”
Plan de Acción de Biodiversidad de Colombia al 2030 (MinAmbiente, 2024)	de	Articula los compromisos del país con el Marco Global de Biodiversidad Kunming-Montreal. Siendo la conectividad uno de los ejes transversales de las metas propuestas relacionadas con las áreas protegidas y la restauración de ecosistemas marinas y terrestres

6. Metodología

La investigación se enfocó en un análisis cualitativo y cuantitativo de carácter documental, de acuerdo con la metodología establecida por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI para el estudio de la fragmentación y conectividad en el paisaje amazónico colombiano (SINCHI, 2018). Se realizaron modificaciones adaptadas acorde al objeto de la presente investigación orientado a una propuesta de conservación en el paisaje agropecuario en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.

Para esto se llevaron a cabo tres fases en función de los objetivos formulados, la primera corresponde al análisis de información secundaria y el procesamiento de datos espaciales en sistemas de información geográfica para la identificación del grado de fragmentación. La segunda, abarco la recolección de información primaria y análisis participativo en relación con los motores de transformación. La última fase, abordo los elementos determinados en la información primaria y secundaria recopilada y analizada con el fin establecer los mecanismos de conectividad ecológica en zonas altamente fragmentadas del municipio.

Figura 1. Esquema metodológico.

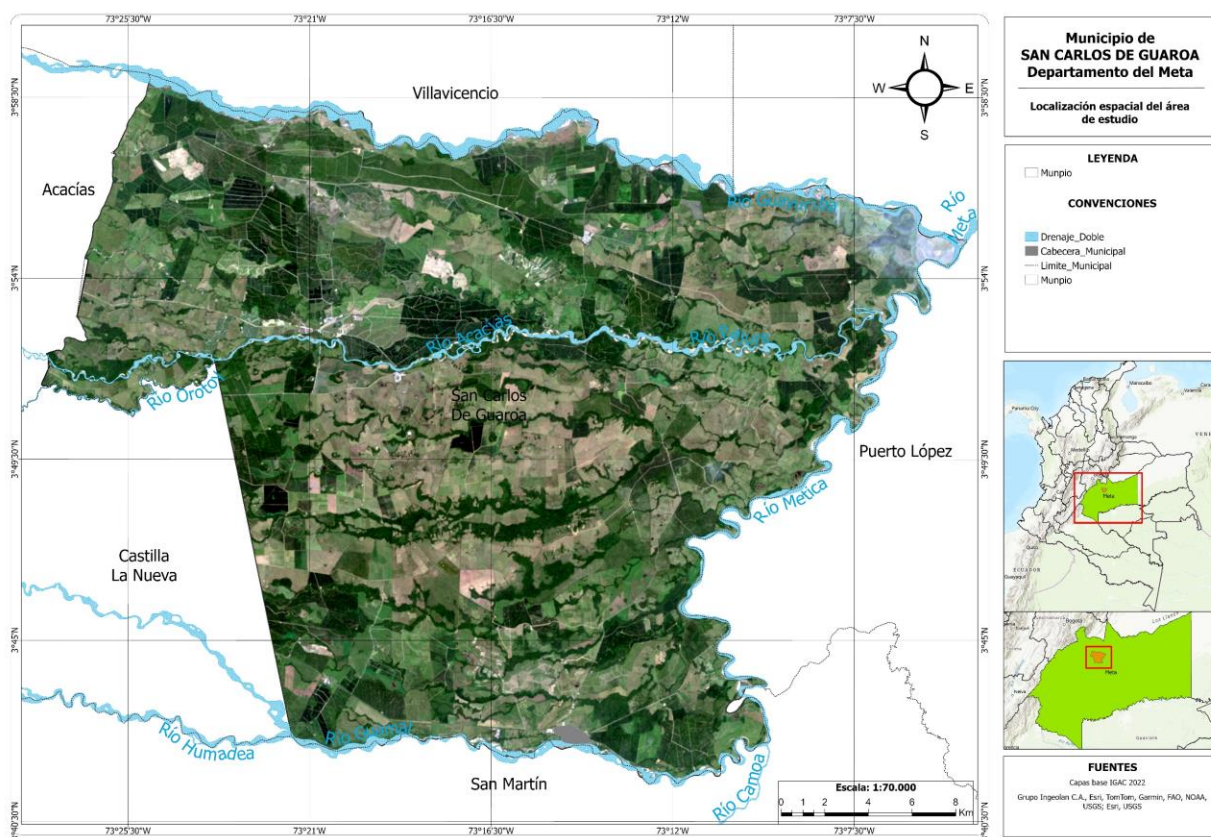


Cabe destacar que, durante el desarrollo del estudio, una de las principales limitantes fue la dificultad para lograr la participación de la Alcaldía municipal, actor clave para el proceso, ya que no fue posible obtener respuesta a las visitas realizadas. Lo que impidió incluir la perspectiva institucional en la fase de recolección primaria. De manera que se construyó a partir de la percepción de la comunidad local y actores del sector agropecuario, los cuales reflejaron de forma confiable la realidad del territorio.

5.3 Área de estudio

El municipio de San Carlos de Guaroa, se encuentra ubicado en el departamento del Meta, a 88 km de Villavicencio (Figura 2). Cuenta con una extensión de 814 km² y una altitud promedio de 350 msnm. Se caracteriza por un relieve plano en el que predominan las planicies aluviales que albergan diversos ecosistemas de sabanas, bosques de galería y morichales. Cuenta con una amplia red hidrográfica en los que se destaca las subzonas del río Guayuriba, río Metica, río Acacías-Pajure y ríos Guamal-Humadea. Además, de un total de 115 humedales que contribuyen al equilibrio ecológico en el territorio (Alcaldía de San Carlos de Guaroa, 2016).

Se encuentra en la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T), caracterizada por un clima cálido húmedo, con una precipitación total anual entre 2500 y 3000 mm, temperatura promedio anual entre 24 y 32 °C y humedad relativa promedio anual del 80%. Presenta un régimen monomodal, donde el periodo de mayor intensidad de lluvias se registra entre los meses de mayo a julio, mientras que la temporada seca ocurre principalmente de diciembre a febrero (Hurtado *et al.*, 2017). Estas condiciones climáticas y características geomorfológicas, han favorecido el establecimiento de cultivos permanentes y transitorios con altos índices de producción y rendimiento con los que destacan a nivel nacional en el sector agrícola (UPRA, 2023).

Figura 2. Ubicación del área de estudio del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.

Nota. Base cartográfica del IGAC (2022), procesada mediante QGIS.

5.4 Fase I – Identificación de los procesos de fragmentación en el paisaje agropecuario

5.4.1 Interpretación de coberturas de la tierra

Para evaluar la fragmentación de las coberturas naturales en el municipio, se realizó la interpretación de coberturas del municipio para el año 1985 y 2025 a una escala 1:10.000, de acuerdo con la leyenda de coberturas naturales y antrópicas de CORINE Land Cover adaptada para Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010). Se utilizaron imágenes satelitales de libre acceso, Landsat de enero de 1985 y Sentinel-2 de Copernicus de enero de 2025, con una resolución espacial de 60 y 10 metros, respectivamente, con un porcentaje de nubosidad menor al 9%.

La selección de estos años corresponde a la necesidad de analizar la transformación del territorio, dado que desde la década de 1970 la topografía plana del departamento del Meta ha sido

de interés para el desarrollo agroindustrial. Inicialmente con la intensificación de monocultivos de arroz y maíz, y posteriormente, hacia las últimas dos décadas la implementación de palma de aceite, la cual ha sido relevante en el municipio (Devia & Piñeros, 2021). Así mismo, se debe tener en cuenta que monocultivos como la palma de aceite tiene una vida productiva de más de 30 años. De manera que el año 1985 establece una línea base previa a los procesos de expansión agropecuaria en el municipio.

De manera que a las imágenes satelitales se aplicó el método de clasificación supervisada, se realizó una depuración de la imagen clasificada con eliminación de áreas no significativas menores a 150 m² y se utilizó la matriz de confusión y el índice de Kappa para asegurar la idoneidad de la clasificación. El proceso descrito se efectuó a través del software de libre acceso QGIS v3.34.11 (QGIS Association, 2024).

5.4.2 Indicadores de la fragmentación

El mapa de coberturas CLC se reclasificó en coberturas naturales (primer plano – foreground - fg) y transformadas (fondo - background - bg) de acuerdo con (Vogt & Riitters, 2017) para el procesamiento de la imagen GeoTIFF y análisis de la fragmentación, en el software libre acceso GuidosToolbox versión 3.3 (Vogt, 2024). En este la evaluación del estado de la fragmentación se cuantificó en un rango de 0 a 100% sobre el área de interés (Tabla 3). Teniendo en cuenta que la fragmentación es complementaria a la conectividad (Fragmentation = 100% - Connectivity) (Vogt, 2024). Las áreas naturales se observaron a través de una escala de observación fija (FOS) que consiste en el análisis de cada pixel a partir de los pixeles adyacentes que componen una ventana móvil (Vogt & Riitters, 2017).

Tabla 3. Categorías de fragmentación.

Indicator (%)	Class	Fragmentation	Connectivity
$0 \leq x < 10$	1-Rare	Very high	Very low
$10 \leq x < 40$	2-Patchy	High	Low
$40 \leq x < 60$	3-Transitional	Intermediate	Intermediate
$60 \leq x < 90$	4-Dominant	Low	High
$90 \leq x < 100$	5-Interior	Very low	Very high
100	6-Intact	Intact	None

Nota. Tomado de Vogt (2024)

Por otra parte, se calcularon indicadores espaciales de métricas del paisaje en el que se evaluaron los parámetros de área, número de parches, perímetro, proximidad y distancia. Adicionalmente, se realizó con análisis multiescalares y temporales para la cuantificación de la fragmentación y la conectividad forestal. También se desarrolló un análisis espacial de las variaciones de la cobertura forestal, a través de la detección de cambios morfológicos en el paisaje. Con todo lo anterior, se determinó el grado de transformación de las coberturas boscosas naturales en relación con las coberturas transformadas, con el fin de identificar las zonas de mayor fragmentación en el área de estudio.

Posteriormente, con el fin de entender los patrones espaciales del paisaje y su evolución en el tiempo, se realizó el análisis de variables asociadas a la fragmentación. En primer lugar, se evaluaron los factores biofísicos con información de fuentes oficiales como clima, suelos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2000, 2014), geología (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2015), pendiente (IGAC, 2019), relieve e hidrología (IGAC, 2018). En segundo lugar, los factores socioeconómicos. Para lo cual, se utilizó el índice de mosaico del paisaje con el método de AND (Agriculture, Natural, Developed) mediante las herramientas del software libre GidocsToolbox 3.3 (Vogt, 2024). Donde la dominancia de las coberturas se representa en el esquema de clasificación tripolar, el cual clasifica en mayúscula (A-N-D) o en minúscula (a-n-d) la dominancia o grado de intensidad de las relaciones de cobertura (Vogt *et al.*, 2024). Con la información resultante en formato tipo ráster, se realizó un cruce de asociación de variables para determinar los grados de afectación de la fragmentación (Alto, Medio y Bajo), y a su vez, identificar las zonas críticas.

5.5 Fase II – Caracterización de motores de la fragmentación

Con la identificación de las zonas de mayor fragmentación en el municipio obtenido en la fase anterior, se realizó la caracterización de las causas y agentes de dichas áreas. Para esto se recopiló información primaria de los actores claves en el territorio. Se utilizó la metodología de cartografía social, como técnica participativa con la comunidad local, a través de diálogos informales de la percepción y conocimiento sobre conservación y problemáticas ambientales del municipio. Estos intercambios se desarrollaron durante dos visitas de campo, realizadas el 24 de

enero y el 12 de febrero de 2025, en las que se conversó con habitantes que atendieron las consultas.

Mientras que con actores relacionados con el sector económico del municipio se realizaron entrevistas abiertas. Las cuales se llevaron a lo largo del mes de febrero. Esto con el propósito de conocer información cualitativa y percepciones asociados a criterios sociales y económicos. De manera simultánea, se realizó una revisión en fuentes secundarias para identificar posibles causas documentadas.

5.6 Fase III – Formulación de la conectividad ecológica

Inicialmente, se realizó el modelamiento de hábitats, con el fin de predecir las zonas de hábitat óptimo, de acuerdo con la distribución estimada de la fauna en el municipio. Para esto se recolectaron los registros biológicos del área de estudio de los últimos cinco años, de los cuales se priorizaron los mamíferos terrestres no voladores, dado que su movilidad, reproducción, alimentación y refugio dependen directamente de grandes áreas continuas de coberturas naturales. Así mismo, presentan una capacidad de desplazamiento intermedia frente a eventos de disturbios, puesto que, aunque tienen alta capacidad de dispersión, requieren de coberturas adecuadas para evitar la exposición a factores naturales o antrópicos (Tucker *et al.*, 2018).

De estos se seleccionaron solo los registros de presencia bajo coberturas naturales, para evitar la utilización de registros sobre coberturas actualmente transformadas. Adicionalmente, se obtuvieron los datos de las variables bioclimáticas de precipitación y temperatura en WorldClim (Fick & Hijmans, 2017). Posteriormente, los datos fueron ejecutados en el programa de libre acceso Maxent 3.4.4 (Phillips *et al.*, 2008), que permitió modelar la entropía máxima de la distribución geográfica de las especies de mamíferos. Paralelamente, se identificaron las áreas núcleo mediante el análisis de patrones espaciales morfológicos (MSPA, siglas en inglés) con el software libre GidosToolbox.

Por otra parte, se generó el mapa de fricción o resistencia con base en el uso del suelo, la pendiente, la red hidrográfica y las vías, como facilitadoras o barreras de la conectividad. Se reclasificó en una escala de 1 a 5, de acuerdo con las variables evaluadas en la fragmentación, la movilidad de los mamíferos terrestres no voladores y la permeabilidad de cada cobertura. La variable más baja (1) fue asignada a las coberturas naturales de bosques de galería y bosque denso

alto de tierra firme. Por el contrario, la más alta (5) se designó a las áreas altamente transformadas que impiden el desplazamiento, como el tejido urbano y las zonas industriales. Mientras que zonas de monocultivos, pastos y mosaicos agrícolas, se calificaron entre 4 y 3, debido, aunque suponen una barrera, aun permiten el desplazamiento. Respecto a las demás coberturas vegetales seminaturales y naturales no boscosas, se categorizaron entre 2 y 3, dado que la mayoría son áreas abiertas y parcialmente permeables.

Con los anteriores datos en ráster, se calculó el costo de la distancia acumulada, que corresponde al valor de desplazarse desde los parches hacia la zona de mayor idoneidad de hábitats. Luego, se determinó el costo de desplazamiento entre parches. Como resultado, se obtuvieron las rutas de menor resistencia para la movilidad de las especies, es decir, aquellas rutas de menor coste energético para los organismos. Posteriormente, se aplicó un buffer de 100 m de ancho, siendo un tamaño significativo para el desplazamiento de especies y reducir el efecto de borde. Los análisis se desarrollaron con las herramientas de GRASS de QGIS.

Finalmente, se cruzaron con el uso actual del suelo, las determinantes ambientales establecidas para el municipio, la clasificación del suelo según el EOT (Concejo Municipal de San Carlos de Guaroa, 2015), las zonificaciones en los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas (POMCA) de los ríos Guayuriba, Acacías-Pajure y Guamal, la red hidrográfica y las vías, con el propósito de validar su viabilidad. Donde se obtuvo como resultado los corredores ecológicos que, por sus características y funcionalidad, son claves en la conectividad. A partir de lo anterior, se realizó la propuesta de los mecanismos de conectividad ecológica para el municipio.

6 Análisis y Discusión de resultados

6.1 Coberturas de la tierra

El análisis de las coberturas de la tierra en el municipio de San Carlos de Guaroa entre el año 1985 y 2025, permitió identificar 26 tipos (Tabla 4). Al observar los mapas en el *Anexo 1* y *Anexo 2*, se evidenció una transformación significativa del paisaje relacionada con la expansión agroindustrial. La cobertura de palma de aceite registro el mayor incremento en las últimas cuatro décadas en las franjas norte y sur del municipio, la cual pasó de ocupar el 2.5% (2,037 ha) al 34.6% (27,986 ha) del área total. Por el contrario, coberturas asociadas a la ganadería como los pastos limpios que cubrían el 58.1% (46,946 ha) disminuyeron un 47% (24,993 ha) (Tabla 4). No obstante, se mantiene como la segunda cobertura más dominante, permaneciendo en el noreste y centro. Seguido se destacan los cereales que aumentaron del 4% (4,288 ha) al 8% (6,549 ha), siendo el cultivo de arroz de riego y secano, los de mayor ocupación (DANE & Fedearroz, 2024; Secretaría de Planeación, 2024).

Estos representan más del 70% del área total del municipio, lo que resalta una vez más el enfoque económico agropecuario del municipio. De acuerdo con la Alcaldía de San Carlos de Guaroa (2024), el municipio se encuentra en la Zona para el Desarrollo Agropecuario denominada “Piedemonte y zonas de vega”, dada sus características topográficas de suelos predominantemente planos, facilitan la implementación de los cultivos de palma de aceite, arroz, maíz, yuca y plátano, así como la ganadería (Secretaría de Planeación, 2024).

Por otra parte, se destaca la reducción en otras coberturas, como la pérdida de pastos arbolados, que se redujeron en un 97,3% de la cobertura registrada en 1985. Similarmente, los pastos enmalezados que pasaron 567 ha en 1985 a apenas 47 ha en 2025. Mientras que sistemas mixtos de uso del suelo como los mosaicos con espacios naturales han aumentado muy poco en las últimas décadas, los mosaicos de cultivos han disminuido en un 41% (Tabla 4). Aunque presentan una baja proporción respecto a otras coberturas, constituyen la posibilidad de reorientar las prácticas de manejo del suelo para incrementar la heterogeneidad del paisaje.

En cuanto a las coberturas naturales, presentaron una pérdida significativa del 7.2% en las últimas cuatro décadas. La mayor cobertura la presenta el bosque de galería y ripario con el 14.1% y 11,393 ha, el cual registró una disminución del 11.1% (1,429 ha) respecto a 1985. De igual modo,

el bosque denso alto de tierra firme que actualmente ocupa el 1.1% del área total, presentó una reducción del 43% al pasar de 1,451 ha a 825 ha (Tabla 4). Esta pérdida también ha sido resaltada por otros autores, quienes lo han relacionado con la expansión del sector agrícola, especialmente del sector palmicultor (Acosta & Casallas, 2019).

A pesar de la inminente pérdida, es importante resaltar el incremento de la vegetación secundaria, la cual registró un aumento del 146.6%, es decir, que actualmente esta cobertura es 2.46 veces mayor que en 1985 (Tabla 4). Esto indica el aumento de procesos de regeneración natural en zonas anteriormente intervenidas, especialmente en franjas ribereñas. Aunque a simple vista la pérdida de áreas naturales parece ser compensada con el crecimiento de la vegetación secundaria, es importante considerar que los procesos de regeneración natural suelen tardar mucho tiempo para alcanzar una estructura y composición similar a los ecosistemas originales. Por lo que siguen sin ser utilizadas por la fauna silvestre (Ament *et al.*, 2014; Baguette & Van Dyck, 2007).

En lo que se refiere a los ecosistemas acuáticos, ocuparon una baja extensión en el territorio. La cobertura de ríos presenta leves cambios asociados con las dinámicas fluviales de los ríos Guayuriba, Acacias-Pajure, Guamal y Metica. Por otro lado, la aparición de cuerpos de agua lénticos se debe a las fluctuaciones en los niveles de los ríos, que generan inundaciones temporales. Cuando el nivel del agua descende, algunas zonas permanecen aisladas e inundadas, originando espejos de agua permanentes o semipermanentes. Asimismo, existen áreas que antiguamente formaban parte del cauce activo del río y que, debido al desplazamiento natural del mismo, han quedado desconectadas, conformando nuevos cuerpos de agua independientes.

Por otro lado, los territorios artificializados, aunque presentaron una baja proporción de superficie, se resalta una gran expansión en las últimas cuatro décadas. Siendo las zonas industriales o comerciales las de mayor extensión, las cuales tuvieron un crecimiento del 4.8% con 191 ha más que en 1985. Así mismo, se observa un proceso de consolidación del tejido urbano, donde asentamientos anteriormente dispersos, actualmente son zonas densas, como la inspección Las Palmeras. De igual manera, se destaca la aparición de los centros poblados de las inspecciones Rincón de Pajure y Surimena. Esta dinámica se relaciona estrechamente con el desarrollo agroindustrial de la palma de aceite, que requieren infraestructura de procesamiento, almacenamiento y comercialización. Al igual que la concentración de las comunidades en entornos rurales responde a la mano de obra vinculada a las actividades agroindustriales.

Tabla 4. Comparación de Coberturas del suelo en el municipio de San Carlos de Guaroa (1985–2025).

Cobertura	Área (ha)		% ocupación		Diferencia área (ha) 1985-2025
	1985	2025	1985	2025	
1. Territorios Artificializados					
1.1.1. Tejido urbano continuo	57	149	0.07	0.18	92
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	16	10	0.02	0.01	-6
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	4	195	0.005	0.24	192
2. Territorios Agrícolas					
2.1.2. Cereales	3,463	6,549	4.29	8.11	3,086
2.2.3.2. Palma de aceite	2,033	27,986	2.52	34.65	25,953
2.2.4. Cultivos agroforestales	0	134	0	0.17	134
2.3.1. Pastos limpios	46,946	24,993	58.14	30.95	-21,953
2.3.2. Pastos arbolados	5,265	143	6.52	0.18	-5,122
2.3.3. Pastos enmalezados	567	47	0.70	0.06	-521
2.4.1. Mosaico de cultivos	1,234	126	1.53	0.16	-1,108
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2,792	2,238	3.46	2.77	-554
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0	103	0	0.13	103
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0	267	0	0.33	267
3. Bosques y Áreas naturales					
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	1,451	825	1.80	1.02	-626
3.1.4. Bosque de galería y ripario	12,822	11,393	15.88	14.11	-1,429
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1,051	0	1.30	0	-1,051
3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	105	252	0.13	0.31	146
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	0	52	0	0.06	52
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	242	1,489	0.30	1.84	1,247
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	885	1,291	1.10	1.60	406
3.3. Áreas abiertas sin o con poca vegetación	182	82	0.22	0.10	-99
3.3.1. Zonas arenosas naturales	490	602	0.61	0.75	111
4. Áreas Húmedas					
4.1.1. Zonas Pantanosas	0	36	0	0.04	36
5. Superficies de Agua					
5.1.1. Ríos	1,144	1,637	1.42	2.03	494
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2	14	0.002	0.02	12
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	0	145	0	0.18	145

6.2 Análisis de la Fragmentación del paisaje

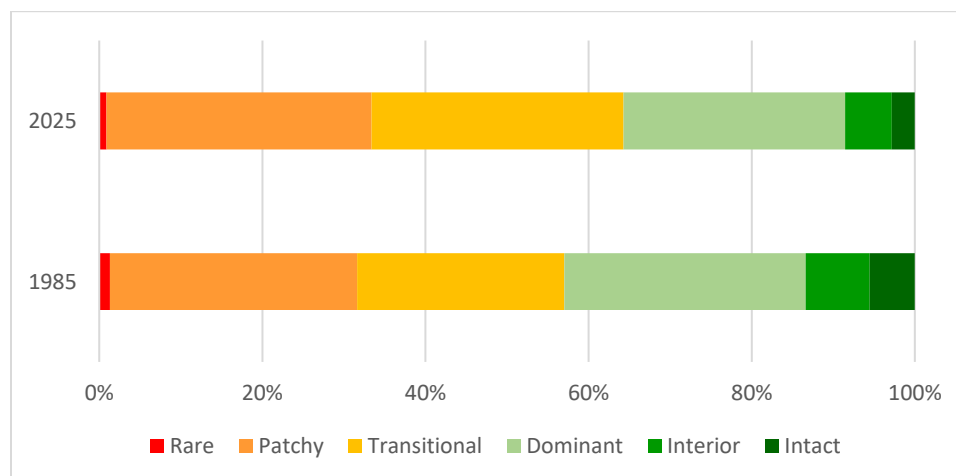
6.2.1 Categorías de fragmentación

La comparación multiescalar entre los años 1985 y 2025 mostró cambios significativos en la configuración espacial del paisaje (*Anexo 3 y Anexo 4*). Se observó una disminución de la cobertura vegetal, con un incremento en el número de parches y una reducción del tamaño promedio de los mismos, lo que indica un aumento progresivo de la fragmentación estructural de la cobertura boscosa en las últimas cuatro décadas. De acuerdo con las clases de fragmentación, las categorías con mayor área y aumento en este periodo corresponden a “Patchy” y “Transitional”.

La primera corresponde a parches dispersos en una matriz, que tienden a estar aislados entre si con baja conectividad. Mientras que la segunda representa aquellas zonas de bordes o ecotonos entre coberturas naturales y antrópicas. Estas incrementaron en un 7% y 22% respecto a 1985, respectivamente. A este se suma, la clase “Rare” que corresponde aquellas áreas altamente fragmentadas, las cuales pasaron de 1.3% a 0.9%. Esta disminución está dada por la desaparición del 33% de estas áreas en las últimas décadas. Lo anterior, refleja un aumento de la fragmentación al tener un mayor número de áreas susceptibles a la transformación.

En contraste, la categoría “Dominant” corresponde a zonas de cobertura mayoritariamente boscosa que presentan una estructura irregular posiblemente por intervenciones. Evidenciaron una disminución del 8.2% en el periodo evaluado. De manera similar las categorías “Interior” e “Intact”, que son aquellas que presentan la menor fragmentación y por ende menor intervención. También presentaron una reducción del 27% y 49%, respectivamente. Estas categorías muestran la reducción de coberturas naturales conservadas y sin grandes alteraciones, lo que implica una reducción de la capacidad de los ecosistemas en el mantenimiento de especies (Bennett & Saunders, 2010).

Figura 3. Comparación de las categorías de fragmentación del paisaje en San Carlos de Guaroa entre 1985 y 2025.

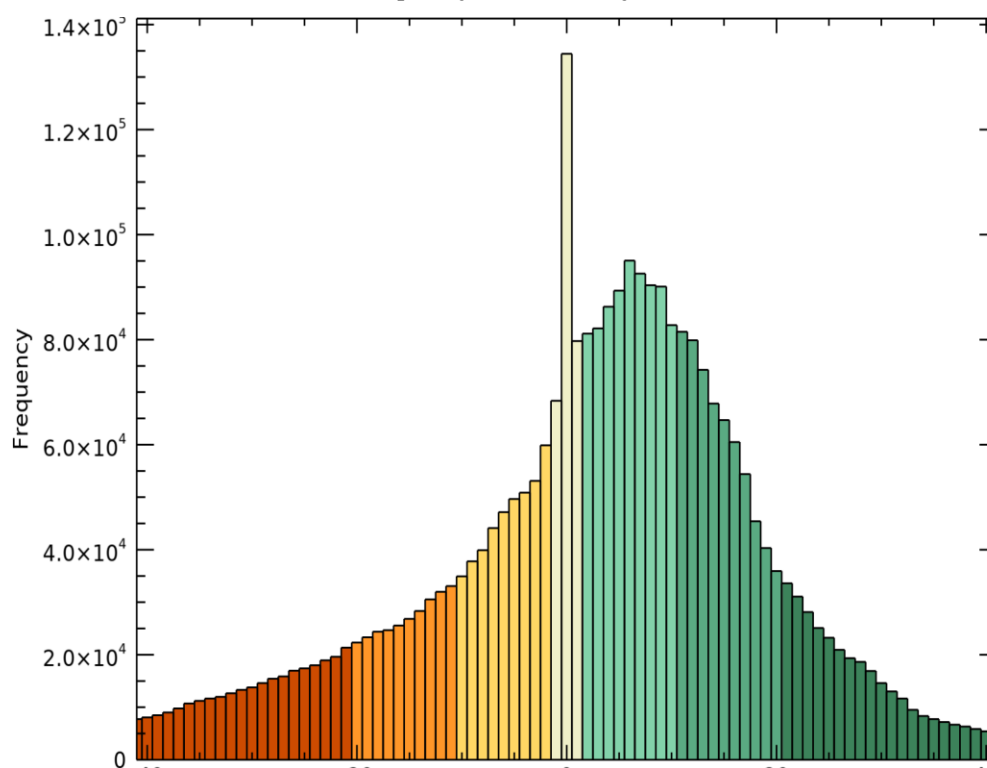


Nota. Análisis espacial realizado con el software GuidosToolbox.

6.2.2 Caracterización estructural del paisaje

Los indicadores de conectividad general del paisaje evidenciaron un proceso de fragmentación (Tabla 5). El valor promedio de la densidad de área que corresponde al número de píxeles con coberturas boscosas, respecto a los píxeles vecinos en un marco de 3x3. Fue para ambos años medio, lo que indica una disminución de la conectividad estructural entre los parches. Con una ligera reducción de 3.27% hacia el presente. A pesar de esto, al revisar los cambios de conectividad forestal, se evidenció un incremento bajo de la conectividad (Figura 4 y Anexo 5). La distribución del gradiente presentó una asimetría positiva con tendencia al aumento. Esto corresponde principalmente al incremento de las zonas de transición de los bosques en la matriz rural, lo que evidencia procesos de regeneración derivado de cambios en el uso del suelo relacionados con el abandono.

No obstante, el valor promedio de conectividad presentó una disminución de 1.88%, lo que confirma una pérdida general de la conectividad del paisaje. Debido a que aún se mantienen zonas con alta reducción de la conectividad. Las cuales se concentran en el noreste, centro-sur y sureste del municipio. También es de resaltar que se observa una gran proporción estable o con cambios insignificantes, que se focalizan en el interior de las masas boscosas.

Figura 4. Cambio en la conectividad del paisaje entre 1985 y 2025, en San Carlos de Guaroa.

Nota. Análisis obtenido con el software GuidosToolbox. FOS: Fixed Observation Scale.

En cuanto al índice de coherencia, que mide la conexión funcional entre fragmentos. Presentó un aumento, que sigue siendo bajo con menos del 20%, lo que indica una conectividad débil entre los fragmentos. Por último, el índice de coherencia a nivel de unidad muestra que una baja proporción del área del municipio mantiene una conexión funcional, a pesar del leve aumento en las últimas décadas. Esto se debe principalmente a la reducción del tamaño de los parches y el aumento de la fragmentación, la cual se observa en las métricas asociadas a las distancias. En estas se constata una disminución del espacio entre parches y una pérdida del tamaño efectivo de los mismos, a la vez que el aumento de elementos transformados.

De igual manera, el índice hipsométrico entre los dos periodos reveló un aumento de 8.24% de la fragmentación, con un incremento particularmente marcado en las áreas de fondo. Esto indica que la matriz no natural (agrícola y desarrollada) presenta una mayor intensidad sobre las coberturas naturales, lo que reduce la conectividad ecológica. Simultáneamente, el índice de entropía, aunque muestra un aumento en las últimas décadas, se mantiene bajo. Lo cual resalta una baja heterogeneidad del paisaje. Por tanto, los valores evidencian una disminución de la

conectividad ecológica y un aumento de la fragmentación de los hábitats, relacionado con la disminución del tamaño de los parches, debido a la intensidad de las coberturas transformadas alrededor de las áreas naturales.

Tabla 5. Indicadores espaciales de la fragmentación del paisaje.

Indicador	Año 1985	Año 2025
Área promedio parche (ha)	336.8	284.9
Área coberturas boscosas	17.7%	15.1%
FAD_av	55.35%	52.08%
COH	14.31%	19.77%
COH_ru	2.53%	2.99%
CON_av	9.78%	7.90%
Índice de Entropía	4.45	4.95
Índice Hipsométrico	69.5%	77.7%
Área hipsométrica (HA_fg)	124.3	95.72
Distancia euclidiana (bg/fg)	-50.0/14.7	-63.8/11.3
Distancias máximas (bg/fg)	-280.92/138.24	-520.04/105.94
Número de objetos (bg/fg)	-95/1071	-779/1,087
Área representativa (bg/fg)	-7,854/679	-12,773/404

Nota. Análisis realizado con el software GuidosToolbox. FAD_av: promedio de la densidad de área; COH: grado de coherencia; COH_ru: grado de coherencia a nivel de unidad; CON_av: promedio de conectividad; HA_fg: área hipsométrica de las coberturas boscosas; bg/fg: foreground/background.

6.2.3 Cambios espaciales de la cobertura forestal

El análisis espacial del cambio de cobertura forestal entre 1985 y 2025 (*Anexo 6*), determinó un porcentaje de cambio neto del -14.1%, es decir, una pérdida de la cobertura boscosa. Así mismo, el índice de ganancia/perdida de bosque dio como resultado -16.47, el cual al ser un valor negativo nos indica que se registró mayor pérdida, que ganancia. Del mismo modo, el valor de elasticidad de la cobertura forestal, indicó que se perdieron 1.17 píxeles de bosque, por cada píxel de bosque ganado.

Como se puede evidenciar en el *Anexo 6*, los indicadores de detección máxima de cambio espacial (MCD) evidencian en píxeles la cantidad de bosque existente y extinto en ambos periodos. La pérdida de bosque (rojo) fue de 2,626.725 píxeles, que equivalen a 6,566 ha, y la ganancia (verde) de 1,818.295 píxeles (4,545 ha). Aunque se resalta el aumento de vegetación boscosa en algunas zonas para el 2025, no compensa la extinción de algunas grandes masas de bosque presentes en 1985. Simultáneamente, se detectaron 76,727 píxeles como cambios espurios, es

decir, presentan una transición dudosa. Esto puede deberse a cambios temporales en la vegetación o cambios mínimos para la escala de trabajo.

6.2.4 Variables asociadas a la fragmentación del paisaje

La fragmentación del paisaje se origina de la alteración de los patrones naturales de los ecosistemas. Estas provienen de causas directas o subyacentes, naturales o antropogénicas, que influyen en la configuración espacial, e implica consecuencias en la biodiversidad (Navarro *et al.*, 2015). Entre estos, se encuentran las variables biofísicas, que suelen generar variaciones espacio-temporales en el paisaje. No obstante, en el municipio no evidencian ser un motor significativo de transformación. Las variables evaluadas presentaron condiciones homogéneas en todo el territorio. Debido a que dichas variables como un relieve predominante plano, una geomorfología dominada por planicies aluviales, y una distribución de los suelos relativamente uniforme en el todo el municipio (Alcaldía de San Carlos de Guaroa, 2016; IGAC, 2000, 2014, 2019; SGC, 2015), no influyen fuertemente en la alteración de las coberturas naturales. Por ende, no constituyen una causa directa, y no se consideran motor de cambio en el área de estudio.

Por otra parte, las variables antrópicas fueron evaluadas mediante el índice de mosaico del paisaje (*Anexo 7*). Donde el 37% del total de los píxeles en el área de estudio se encuentran en mosaicos dominados exclusivamente por agricultura (AA). Mientras que, el 8% en la categoría puramente natural (NN). La transición de los mosaicos naturales hacia los mosaicos agrícolas, evidencia la tendencia dominante de estos últimos en el uso del suelo entre las últimas cuatro décadas. En contraste, el desarrollo urbano que se considera una de las principales variables de fragmentación, en el área de estudio tan solo el 0.13% corresponde a mosaicos únicamente de cobertura desarrollada o urbanizados (DD). En otras palabras, su concentración en áreas específicas no denota implicaciones directas en las coberturas naturales. Dado el crecimiento limitado en las últimas décadas en el paisaje, presentando una baja dominancia e intensidad, respecto a las demás coberturas. De igual manera, es importante resaltar que la zona central del esquema triangular (*Anexo 7*) que abarca las coberturas mezcladas de los tres tipos, registro valores bajos cercanos a cero. Esto significa que el municipio presenta una baja complejidad estructural y heterogeneidad de coberturas.

Para comprender mejor las variables que actúan en el territorio, se observó el *Anexo 8*. La dinámica forestal señala que los bosques restantes a la cobertura netamente natural (NN), se ubicaron principalmente en los mosaicos con predominio natural (N y Na), alrededor del 9.7% del total del área y una amplia fracción (39%) entre coberturas agrícolas y naturales, que tienen una relación natural subdominante (an y An). Lo que sugiere una vegetación natural secundaria inmersa en mosaicos agrícolas. De acuerdo con la elevada intensidad antrópica entorno a las zonas naturales, prevalece una alta probabilidad de alteración de estas coberturas.

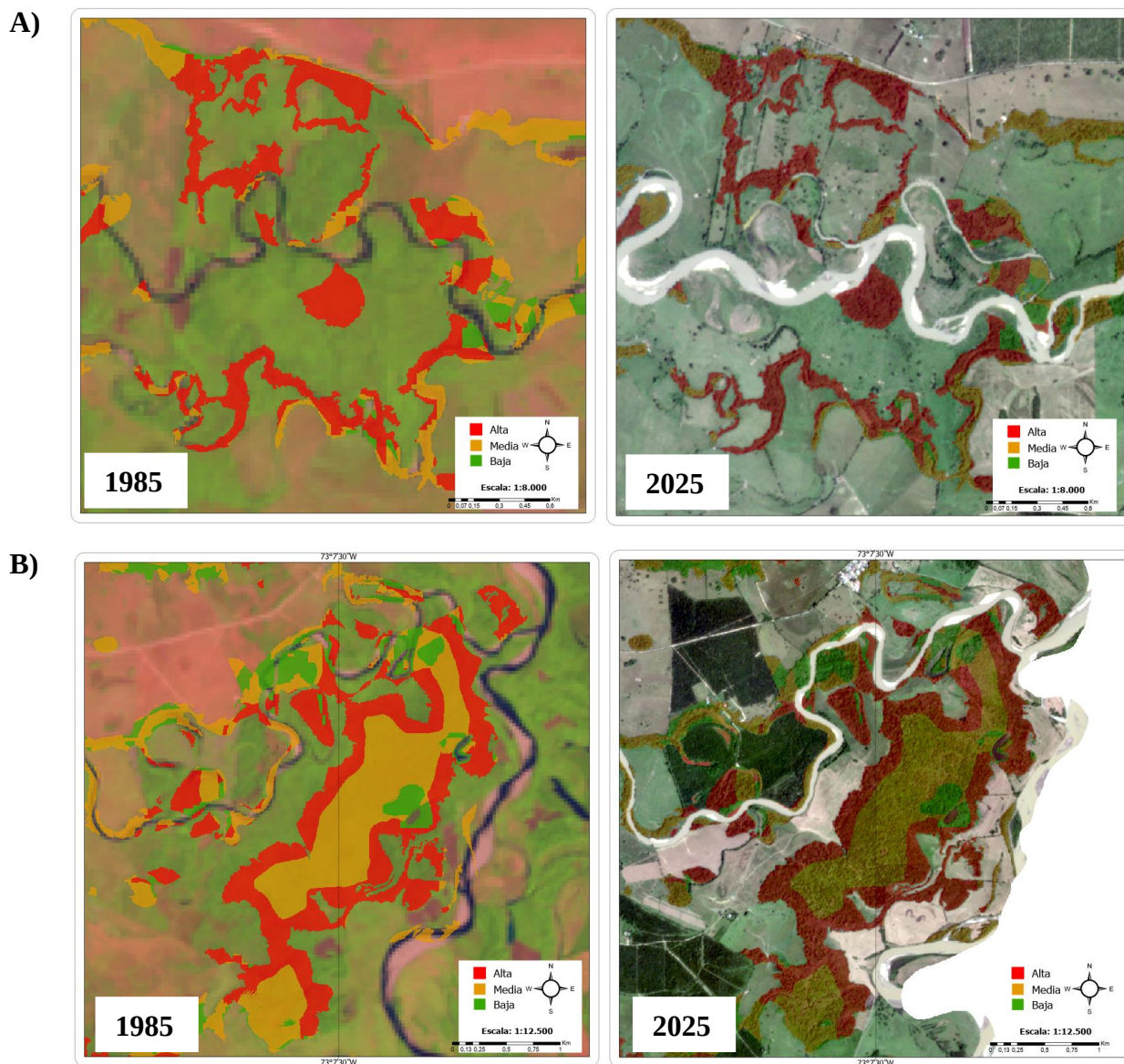
En contraste, se observó que la agricultura es la actividad dominante en el territorio y ha sido el principal motor de transformación. Como resultado, la diversidad del paisaje es escasa, evidenciando una homogenización, lo que provoca la pérdida de la conectividad en la matriz agraria para las especies (Gurrutxaga & Lozano, 2010). A nivel nacional, los paisajes agropecuarios heterogéneos corresponden a menos del 25%. En el caso de la Orinoquia, más del 60% presentan una heterogeneidad nula, es decir, que presentan una escasa cobertura de ecosistemas y una marcada disminución de la biodiversidad (García & Díaz, 2020). Es decir, alrededor del 64% de la región muestra una alta vulnerabilidad en la oferta de servicios ecosistémicos (Díaz *et al.*, 2019). De igual manera, esto se relaciona con la presencia en la región de grandes áreas de Unidades Productoras Agropecuarias (entre 1.000 y 5.000 ha), que su mayoría de cuya extensión se destina a la producción, lo que suele tener un gran impacto en la conservación (García & Díaz, 2020).

Por otro lado, es resaltar que a pesar el desarrollo urbano se reconoce como una de las principales causas de fragmentación, en el área de estudio su concentración en zonas específicas no parece generar impactos de gran magnitud sobre las coberturas naturales.

6.2.5 Grado de fragmentación de las coberturas naturales

El análisis de las anteriores variables asociadas a la fragmentación, junto con la caracterización estructural del paisaje, permitió obtener el grado de fragmentación de las coberturas boscosas presentes en el municipio (*Anexo 9*). Las cuales se clasificaron en tres de acuerdo con la escala de afectación acumulada: verde (baja), naranja (media) y rojo (alta). Estas últimas se identificaron como zonas prioritarias debido a que presentan mayor pérdida de bosque, alta fragmentación y baja conectividad, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Ventana de comparación de la cobertura boscosa en el A) río Acacías y B) río Metica, estado inicial y actual del paisaje, y su grado de fragmentación.



Nota. Cartografía generada a partir de imágenes satelitales Landsat y Sentinel-2, procesadas mediante herramientas de QGIS y GuidosToolbox.

Al comparar las imágenes, en 1985 se evidencian coberturas boscosas homogéneas, especialmente en áreas contiguas a los cauces de los cuerpos de agua (Figura 5). Sin embargo, muestran una reducción significativa con el desarrollo de coberturas antrópicas a su alrededor. En el caso de río Acacías, se destaca la pérdida de aproximadamente el 60% área boscosa del parche, la cual se disminuyó considerablemente por la expansión significativa de los pastos limpios. De

igual modo, ocurre con una gran área de bosque denso alto de tierra firme aledaño al río Metica, el cual ha registrado una reducción en las últimas décadas. La expansión de las coberturas antrópicas y la pérdida de gran proporción de su extensión, han provocado una disminución alta de la conectividad en el borde.

La presencia de grandes extensiones de bosque en paisajes transformados es de gran importancia, pues actúan como núcleos de conservación de la biodiversidad, al mantener una estructura ecológica estable, logran albergar especies susceptibles a la intervención antrópica. Así mismo, facilita el movimiento de especies hacia hábitats aislados (Bennett & Saunders, 2010)

6.3 Motores de la fragmentación

De acuerdo con la recopilación de información primaria se encontró que la fragmentación de las coberturas naturales en el municipio ha sido producto de múltiples factores sociales y ambientales. La participación de los actores comunitarios, productores agropecuarios y trabajadores vinculados al sector agroindustrial, permitió conocer con una mirada directa e identificar cuatro principales aspectos, que se reflejan en problemáticas producto de las dinámicas del territorio.

La primera es la presión de las actividades agropecuarias en el territorio, el cual ha sido reconocido por gran parte de los actores como uno de los principales agentes de transformación. Esto debido al desarrollo de las actividades agropecuarias de forma tradicional, es decir, caracterizada por escasa rotación de cultivos, el uso intensivo del suelo sin medidas de conservación, la ausencia de tecnologías sostenibles y el manejo de grandes extensiones de tierra destinadas a la producción. En el desarrollo de estas acciones, los actores también reconocen la pérdida de coberturas naturales, al deforestar las márgenes de los ríos y caños para la siembra de cultivos. De igual manera, resaltan la disminución de las sábanas naturales, producto de la expansión de la ganadería intensiva, que ha conllevado a la introducción de pastos forrajeros de mejor producción. A esto se suma, el uso de maquinaria agrícola pesada, especialmente en cultivos de arroz y palma de aceite, lo que ha intensificado la pérdida de vegetación en áreas antes ocupadas por bosques y el desplazamiento de la fauna.

Respecto a la homogenización del paisaje en el municipio encontrada en los indicadores de la fragmentación, también fue relacionada por los actores, al afirmar que son pocos los predios

que se dedican a cultivos diferentes al arroz y palma de aceite, los cuales son pequeños en comparación a los dedicados a los monocultivos. De acuerdo con la Alcaldía Municipal, el 45% productores de otros cultivos, corresponden a pequeños agricultores y sus prácticas se realizan en predios menores a una hectárea (Secretaría de Planeación, 2024). Razón por la cual es baja la heterogeneidad al no presentar una proporción similar y bien distribuida en el territorio.

Mientras tanto, autores como Sajbin (2024) mencionan que lo que se presentan como una oportunidad de progreso en relación con los monocultivos, lo que realmente estimula es la venta de tierras y emigración de familias, o en algunos casos son absorbidos por dichos proyectos, en los que se ven vulnerada su seguridad alimentaria, por el desarrollo de una producción agroindustrial basada en el cultivo de grandes extensiones de tierra.

En segundo lugar, se destacó la deforestación. Los actores sociales reportaron la existencia de procesos de tala, donde se extraen especies maderables como el pavito, cachicamo y sangretoro. Mencionan que esta se da en general en todo el municipio, usualmente de manera informal. En esta práctica, se suelen talar los individuos ubicados en el interior del bosque, lo que ocasiona la caída de los árboles vecinos. Esto afecta directamente la estructura y composición florística, al generar claros en el interior de las coberturas naturales, afecta procesos como el reciclaje de nutrientes, disponibilidad de recursos alimenticios para la fauna, entre otros (Guariguata & Kattan, 2002).

Otra forma de pérdida de coberturas forestales, corresponde a los incendios asociados a las actividades agrícolas. Según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, el municipio presenta una amenaza media por incendios forestales debido a la presencia masiva de plantaciones de palma de aceite, que incrementan la ocurrencia al ser fuente de material combustible (Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres [UDGRD], 2023).

En tercer lugar, los actores locales señalaron como problemática relevante la contaminación y degradación de las rondas hídricas. Se evidenció la pérdida de vegetación ribereña en distintas zonas del municipio, donde estas áreas han sido reemplazadas por coberturas transformadas, lo que ha generado fragmentación y deterioro tanto de las coberturas naturales como de los ecosistemas acuáticos. Esta ocupación indebida de las zonas ribereñas también fue asociada por los actores con el incremento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones en los ríos Guamal, Guayuriba, Humadea, Metica y Acacías. Lo anterior altera el balance hídrico de los cuerpos de agua, ya que la reducción de la cobertura foliar incrementa la exposición del suelo a la

radiación solar, lo que a su vez eleva las tasas de evapotranspiración del agua almacenada en el suelo. Con el tiempo, este proceso contribuye significativamente a la pérdida de humedad y puede derivar en la desecación progresiva de estos ecosistemas (Guariguata & Kattan, 2002).

Adicionalmente, los actores identificaron diversas prácticas contaminantes, entre ellas los vertimientos de residuos generados por mataderos al río Guamal, así como la inadecuada disposición de residuos sólidos, sin tratamiento previo, especialmente en el casco urbano y en zonas rurales como Surimena. A esto se suma la contaminación derivada del turismo recreativo en los ríos, lo cual ha contribuido al deterioro progresivo de los ecosistemas naturales asociados a los cuerpos de agua.

De acuerdo con la comunidad, existen afectaciones ambientales derivadas de la actividad petrolera en el municipio de Acacías. La acumulación de residuos contaminantes en cuerpos de agua como el río Guamal y caño Chichimene, que confluyen a cuerpos de agua en la vereda La Patagonia de San Carlos de Guaroa, han afectado la calidad del agua para las comunidades que allí habitan. Consideran que el aumento de la vegetación puede ayudar a mitigar el grado de contaminación del recurso hídrico y mantener las poblaciones de especies acuáticas, claves para la pesca artesanal.

En cuarto lugar, mencionan que los casos de atropellamiento de fauna silvestre ocurren a menudo, en los que destacan las especies de ocelotes, monos y osos hormigueros. Consideran que la carencia de pasos de fauna y la señalización vial, además de la velocidad de los conductores, son los causantes de la disminución de las poblaciones. Esta es una problemática a nivel global que ocasiona sobre la fauna destrucción, degradación, fragmentación, mortalidad e introducción de especies invasoras. Un estudio en el departamento del Meta, demostró que el grupo con más casos de atropellamiento fueron los reptiles, seguido por las aves y los mamíferos, las causas fueron la intervención de los espacios naturales y la falta de cultura vial (Rincón-Aranguri *et al.*, 2015).

En síntesis, los motores de fragmentación de las coberturas naturales en el municipio de San Carlos de Guaroa reflejan una interacción entre dinámicas sociales, económicas y ambientales. Los elementos identificados por los actores corresponden a la presión ejercida por las prácticas agropecuarias tradicionales, la expansión de los monocultivos, la deforestación informal, los incendios asociados a la actividad agrícola, y la pérdida de vegetación ribereña. A ello se suman, otros factores indirectos como la contaminación y la red vial.

Estas acciones generan cambios estructurales en la vegetación, reduce la diversidad de los hábitats, lo que repercute en la composición de la fauna, al crear una red trófica simple con menos especies. De igual modo, conlleva a otros problemas como migración y generación de conflictos en nuevos hábitats, alteración de ciclos reproductivos, deficiencia en la polinización e inadecuada dispersión de semillas, lo cual constituye una barrera para la sucesión ecológica (Guariguata & Kattan, 2002). Así mismo, se extiende a la falta de control natural de poblaciones y dispersión de plagas (Altieri, 2009; Marín-Uparela *et al.*, 2023; Pardo, & Ocampo-Peña, 2019). Finalmente, el resultado es el aislamiento de los remanentes naturales que tienden a disminuir con el tiempo, lo que conlleva a la extinción de especies a nivel local (Guariguata & Kattan, 2002)

6.4 Conectividad ecológica

6.4.1 Modelamiento de hábitats

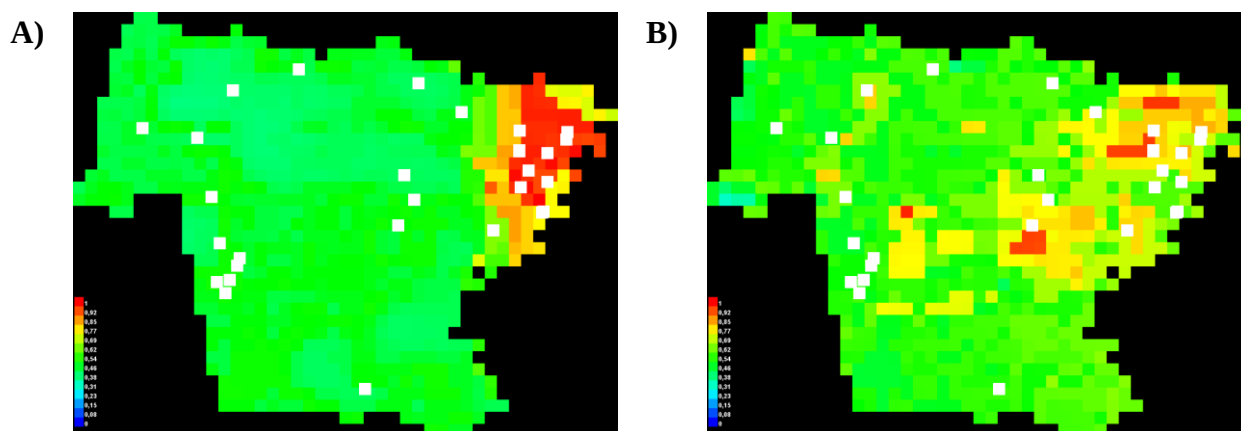
Los mamíferos terrestres no voladores se consideran un grupo idóneo para el estudio de la conectividad debido a su capacidad de desplazamiento y respuesta ante la alteración de las condiciones de su hábitat (Kaeslin *et al.*, 2013). En el municipio se identificaron 15 especies entre primates, mirmecófagos, carnívoros medianos y herbívoros, los cuales fueron utilizados en este análisis. El modelo de distribución potencial de especies, muestra las zonas de idoneidad, cercanas a 1, como los hábitats con las condiciones microclimáticas necesarias para el desarrollo de poblaciones. Por el contrario, valores cercanos a cero, representan zonas de alta resistencia y baja idoneidad, y se encuentran hacia el noroccidente.

La alta idoneidad se concentró en el sector noreste del área de estudio (*Anexo 10*). Esto precisamente, se relaciona con la dependencia de algunas especies como los primates, por coberturas boscosas continuas para refugio y alimentación (Palacios & Rodriguez, 2001). Entre los que se destacan registros de *Alouatta seniculus*, *Aotus brumbacki*, *Plecturocebus ornatus* y *Sapajus apella*. De igual manera, la presencia de grandes mamíferos como *Myrmecophaga tridactyla* en el municipio, que son un indicador clave para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y el establecimiento de zonas protegidas en Colombia. De acuerdo con Chacón *et al.* (2017), su alta sensibilidad a las perturbaciones generadas por las actividades humanas, lo asocia a ecosistemas con baja presión antrópica. Si bien se ha registrado cierta

capacidad de adaptación a paisajes transformados, su supervivencia depende de la existencia de hábitats conectados que permitan el desplazamiento de la especie.

Por otra parte, al comparar la distribución entre los periodos cálido y lluvioso, se evidencio una mayor dispersión en este último. Lo que sugiere que las especies presentan una mayor tolerancia a la variabilidad en la precipitación. Pero también se relaciona con la época de fructificación de las especies vegetales a lo largo de la vegetación ribereña. Mientras que, en los periodos cálidos, la escasez del recurso hídrico y alimenticio incide en el desplazamiento hacia áreas con mayor cobertura natural. Esto evidencia la disponibilidad de hábitats a lo largo del año, en ambos casos lo que demuestra es la importancia de las coberturas boscosas en el territorio para la biodiversidad (Cuesta, 2011).

Figura 6. Modelo de distribución de especies de acuerdo con el periodo A) cálido y B) lluvioso.



Nota. Análisis obtenido con el software Maxent.

Cabe resaltar que, la distribución obtenida puede estar influenciada por la concentración de los esfuerzos de muestreo en algunas zonas del municipio. En contraste, zonas como el área central del municipio, que alberga aproximadamente 1,800 hectáreas de bosque continuo, no cuentan con registros biológicos, lo que limita la representación real y exacta de la presencia y distribución de las especies en el modelo.

6.4.2 Configuración espacial del paisaje

El análisis de patrones espaciales morfológicos (MSPA) realizado en el municipio, permitió identificar y clasificar distintas estructuras del paisaje a partir de los análisis de la Fase I (*Anexo 11*). Se identificaron un total de 1,462 parches, del cual el 8.29% corresponde a área núcleo. Al incorporar la capa de fragmentación y aplicar un umbral mínimo de hábitat de 350 ha, según Correa *et al.*, (2017) para especies con capacidad media de dispersión, se refinaron los resultados para considerar solo aquellas áreas núcleo con capacidad real de sostener especies con dispersión media. Sin embargo, al tener en cuenta la forma estrecha (ancho de hasta 300 m) y alargada de los bosques de galería (Fajardo *et al.*, 2000), vegetación predominante en el paisaje, se incluyeron los parches con un tamaño mayor a 100 ha.

Como resultado se obtuvieron 21 parches (*Anexo 12*), los cuales representaron las áreas núcleo, ocupando el 57% del área total de la cobertura natural. Entre estos se destacan los parches 15, 18 y 13, que presentaron la mayor extensión en el municipio (1,796, 1,151 y 606 ha, respectivamente). Estas áreas son fundamentales para la conservación, ya que ofrecen hábitats relativamente intactos y alejados de los efectos de borde, proporcionando condiciones más estables para las especies con requerimientos específicos de hábitat (Guariguata & Kattan, 2002).

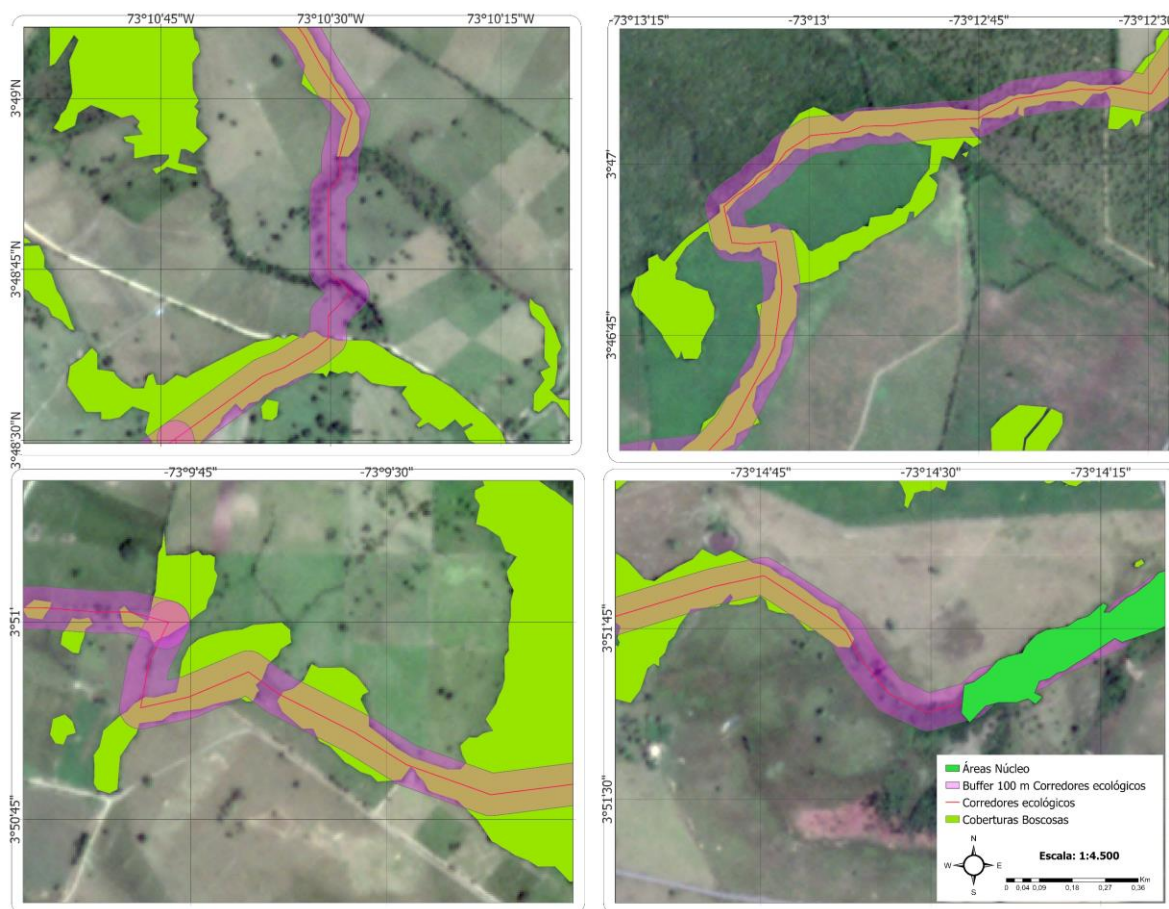
A pesar del predominio de fragmentos más pequeños y estructuras de borde (5.06%) y ramas (0.96%) que indican un paisaje fragmentado, la presencia de núcleos medianos y estructuras conectivas como puentes (0.55%) y bucles (0.07%) sugiere oportunidades para la restauración ecológica y el diseño de corredores. Estos elementos conectivos facilitan el movimiento de especies entre núcleos, los cuales serán de gran importancia en la propuesta de los corredores ecológicos.

6.4.3 Propuesta de mecanismos de la conectividad ecológica

El análisis especial integral del municipio orientado a la conservación en el paisaje agropecuario permitió identificar dos tipos mecanismos clave. El primero relacionado con la intervención de la estructura ecológica del paisaje. Mientras que la segunda se orienta a la sostenibilidad de las actividades socioeconómicas. Esto con el fin de garantizar una mejor efectividad de la conectividad en el tiempo. A continuación, se presentan estos mecanismos.

6.4.3.1 Mecanismos orientados a la estructura ecológica del paisaje. En primer lugar, como resultado de los análisis de costos de desplazamiento y conectividad en relación con variables bióticas, abióticas y de uso del suelo, se proponen 19 corredores ecológicos (*Anexo 12*). Los cuales siguen un patrón de orientación hacia el nororiente y oriente del municipio, donde se concentran la disponibilidad de los hábitats adecuados para las especies. Su trazado sigue en gran medida los patrones naturales de drenaje, lo cual es coherente con la presencia dominante de bosques de galería, ecosistemas que se desarrollan en áreas adyacentes a cuerpos de agua y donde se concentran la mayoría de los fragmentos boscosos en el municipio. Dada su importancia en la movilidad de especies grandes y medianas se propone un buffer de 100 m de ancho (Figura 7).

Figura 7. Visualización de corredores ecológicos y buffer de 100 m propuestos en zonas de drenaje natural.



Nota. Visualización espacial generada a partir de imágenes satelitales, procesadas mediante QGIS.

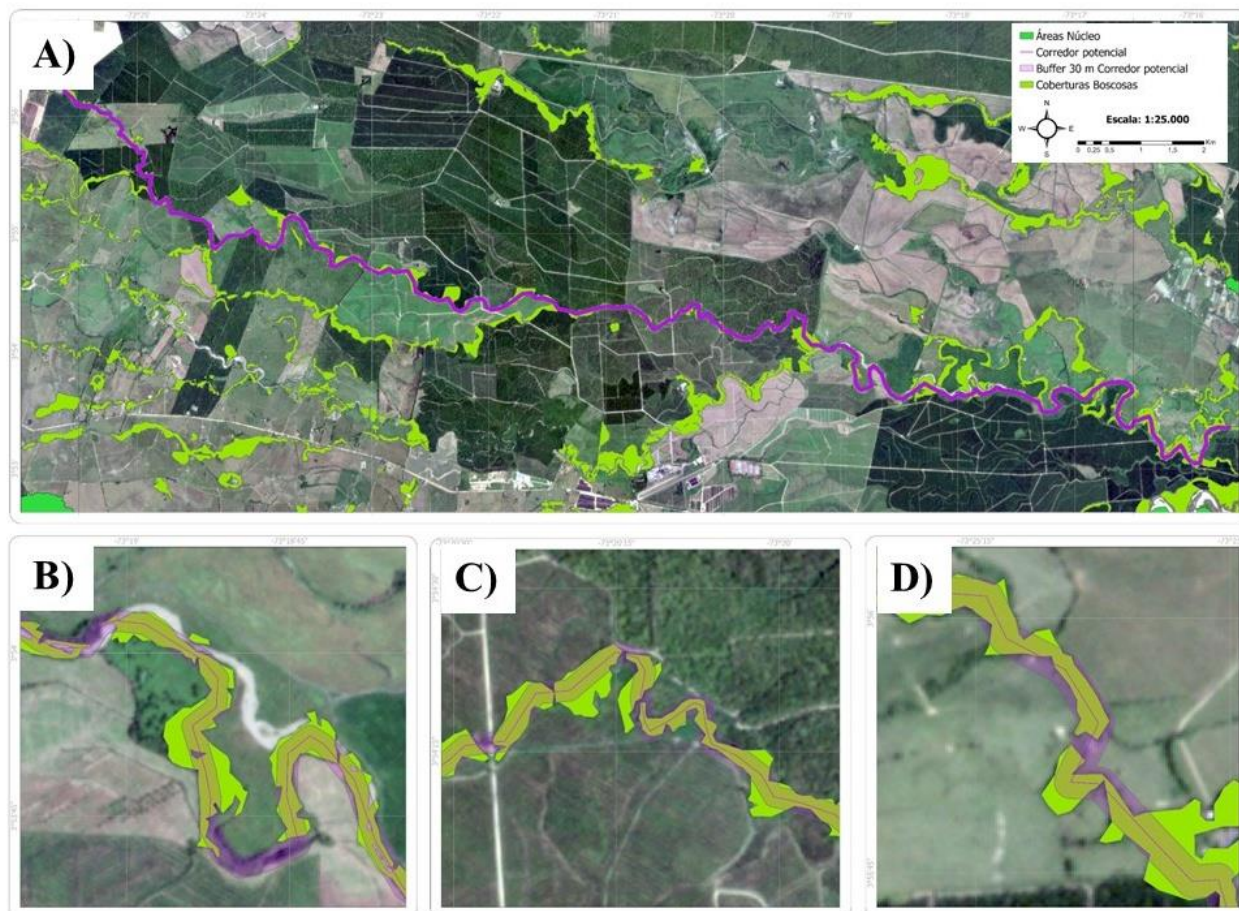
En el paisaje agropecuario de San Carlos de Guaroa es de gran utilidad los corredores riparios. Su estructura en red, asociada al sistema de drenaje, incrementa la conectividad ecológica al facilitar la interacción entre los fragmentos a lo largo de los cuerpos de agua (Salazar & Buitrago, 2018). Por lo que, la recuperación de la vegetación ribereña alineado con las rondas hídricas según lo dispuesto en el artículo 83, letra d) del Decreto 2811 de 1974, que establece “*Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho*”, tiene un papel clave en la conformación de estos corredores.

Es fundamental resaltar que los corredores riparios desempeñan un rol clave en la dinámica del paisaje, al actuar como procesadores de flujos de energía, materia y seres vivos. La continuidad de la vegetación ribereña permite el movimiento, la dispersión y el intercambio genético de numerosas especies (Salazar & Buitrago, 2018). En el caso del municipio, constituye el único refugio disponible para la fauna silvestre, al proporcionar refugio y alimento, en una matriz de coberturas transformadas. Por ello, el restablecimiento de las rondas hídricas es esencial para el mantenimiento y recuperación de la cobertura vegetal.

De manera complementaria, se plantea un corredor ecológico adicional sobre los afluentes de caño Chipas y caño Los Hornos, ubicados en el noroccidente del municipio (Figura 8). Si bien este corredor no fue identificado directamente en los análisis espaciales, la disposición lineal de los fragmentos de cobertura natural a lo largo de estos afluentes evidencia un alto potencial para restaurar su conectividad, mediante procesos de recuperación de la ronda hídrica y la revegetación de sus márgenes. Para lo cual se propone un buffer de 30 m de ancho, de acuerdo con lo estipulado en la normatividad para las rondas hídricas en el país.

Estos corredores, con diferentes niveles de potencialidad, fueron validados mediante la superposición con el uso del suelo y el marco normativo territorial, asegurando su coherencia con los instrumentos de planificación existentes. En primer plano, se encuentran las determinantes ambientales establecidas para el municipio, que incluye las zonas de recarga de acuíferos, las rondas hídricas, los humedales y los bosques naturales, reconocidas como áreas estratégicas por su función ecosistémica. Así como, las zonificaciones ambientales establecidas en los POMCA's de los ríos Acacías-Pajure, Guamal y Guayuriba. Por lo que es de gran importancia que los corredores se establezcan sobre dichas áreas, para una mayor pertinencia con los instrumentos de conservación de mayor jerarquía.

Figura 8. Visualización de A) Corredor ecológico propuesto (violeta), B, C, D) áreas potenciales para la recuperación a través de la ronda hídrica.



Nota. Visualización espacial generada a partir de imágenes satelitales, procesadas mediante QGIS.

En cuanto a los POMCA's, los corredores ecológicos propuestos coinciden con zonificaciones destinadas a la conservación y restauración. La presente propuesta establece relación al cumplimiento de la línea programática enfocada en la restauración y conservación de biodiversidad en relación con la riqueza hídrica, establecida en los POMCA's, la cual contribuiría a los proyectos “5.2 Caracterización, preservación y conservación de cobertura boscosa y fauna silvestre en zonas forestales protectoras y para el mantenimiento de la riqueza hídrica” (POMCA río Acacias-Pajure); “4.2 Aislamiento y Mantenimiento de Zonas Boscosas y Áreas Ribereñas para la Cuenca del Río Guamal” (POMCA río Guamal); “1.3. Restauración de áreas en conflicto por pérdida de cobertura en ecosistemas estratégicos”; “1.4. Conservación de ecosistemas estratégicos y áreas de importancia ambiental que garanticen la provisión de bienes y servicios

ambientales para el desarrollo de la cuenca a través de alternativas de aprovechamiento sostenible” (POMCA río Guayuriba).

Por otra parte, comparación con los lineamientos del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) vigente (Acuerdo 020 de 2015), permitió establecer la coherencia territorial y normativa de los corredores propuestos frente al uso actual y la vocación del suelo. De acuerdo con el EOT, el artículo 26 del Acuerdo 020 de 2015, indica como áreas de reserva para la conservación y protección del medio ambiente, aquellas que hacen parte del suelo de protección definidas en el artículo 25 “*I. Áreas de la Estructura Ecológica Principal: Río Guamal, Río Acacías Pajure, caño la raya, caño Guaroa, Río metica, río Guayuriba, caño Surimena, caño Chichimene. II. Se declaran suelos de protección las rondas de las fuentes hídricas y diversos cuerpos de agua, de la siguiente manera: a) Para los ríos de mayor caudal: rondas entre 50 y 100 metros a cada lado. b) Para quebradas: rondas entre 30 y 50 metros a cada lado. c) Para caños: entre 10 y 30 metros a cada lado.*”. De igual forma, las rondas hídricas concebidas en el artículo 174 como Áreas de especial importancia ecosistémica, siendo su principal uso la preservación de la cobertura boscosa y la protección integral de los recursos naturales.

La implementación de estos mecanismos también contribuiría al artículo 164 del Acuerdo 020 de 2015, en cual se contemplan las estrategias de gestión del riesgo en el que menciona “*iii. Formulación e implementación de un programa de protección y manejo para las áreas forestales protectoras de ronda de protección hídrica y relictos boscosos existentes en el área urbana y rural*”. De igual forma, el artículo 165 en acciones para la reducción del riesgo “*vi. Recuperación de rondas hídricas como medida de contención ante fenómenos de inundación; desarrollar acciones de recuperación y paisajismo sobre las rondas río...*”. Así mismo, el artículo 170 que contempla estrategias en relación con los servicios ecosistémicos “*...propender por la expansión de áreas de bosque que aumenten la absorción y extracción de dióxido de carbono en la atmósfera, así como evitar la deforestación que impacte en los procesos de absorción*”. De tal manera que los corredores ecológicos identificados se ubican principalmente en suelos rurales y de protección, lo que permite una mayor flexibilidad para su implementación.

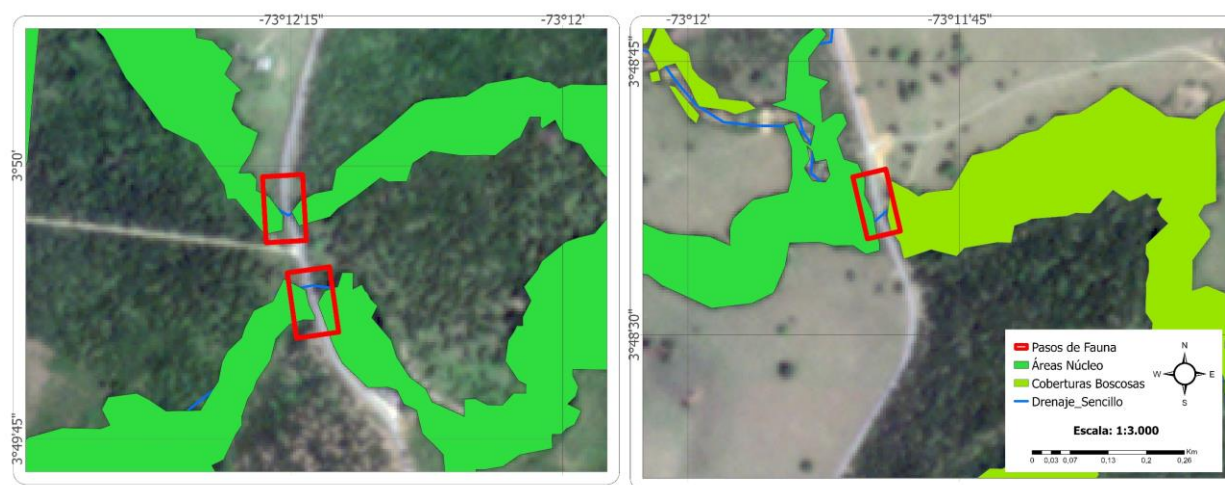
En segundo lugar, se plantea la restauración ecológica como mecanismo para la recuperación de la conectividad, en particular, en las zonas con ausencia de cobertura boscosa entre los parches, como se observa en la Figura 7. Estos vacíos de conectividad, se recomienda ser intervenidos mediante la restauración activa de la siembra directa de especies vegetales nativas.

Pero también acompañado de un proceso pasivo, al restringir estas zonas ante el uso del suelo. Estas acciones deben priorizarse solo en aquellas zonas totalmente descubiertas de vegetación, que representan las zonas de mayor barrera para el tránsito de las especies. Las cuales son prioritarias para intervención por la Alcaldía Municipal como parte de sus programas ambientales.

En zonas con ocupación agrícola, la implementación de los corredores ecológicos puede lograrse a través de estrategias como cercas vivas y los sistemas agroforestales. Las cuales han demostrado que facilitan la conectividad en zonas con parches. Mientras que ofrece beneficios económicos y productivos para los productores del municipio. Se plantean al ser una alternativa de bajo costo y fácil mantenimiento (Carretero, 2010; Harvey *et al.*, 2003; Martínez & DeClerck, 2010).

En tercer lugar, se identificó que la infraestructura vial afecta considerablemente la permeabilidad de los paisajes, dado que actúan como una barrera para un amplio grupo de especies de fauna silvestre. Estas aumentan el aislamiento y reducen el intercambio genético. Debido al comportamiento etológico de la mayoría de especies evita cruzarlas, ante la existencia de una superficie desprovista de vegetación, con luz y ruido (Gurrutxaga & Lozano, 2010). Sin embargo, los actores sociales resaltan en la problemática de atropellamiento de individuos de fauna silvestre, es por esto que se propone la integración de once pasos de fauna, en las vías secundarias intermunicipales de San Carlos de Guaroa a Villavicencio y de Surimena a Acacías, específicamente en la división de la continuidad de las coberturas naturales (Figura 9), para reducir el riesgo y presentar otras alternativas de desplazamiento a los individuos.

Figura 9. Zonas propuestas para la implementación de pasos de fauna.



Estas estrategias propuestas para el municipio han sido planteadas como una estrategia de solución a los desafíos de conservación en ambientes transformados a nivel mundial (Bennett, 2004). Medidas de conservación que buscan minimizar los procesos de extinción, que de acuerdo con Turner (1996) se categorizan en la eliminación total de hábitats en el paisaje, la disminución del tamaño de las poblaciones, la prevención del aislamiento de parches, el efecto de borde y los cambios en la estructura de las comunidades. Asimismo, en acción contra al cambio climático, resulta fundamental mantener los ecosistemas que se encuentran razonablemente intactos y que presentan mayor capacidad para soportar sus efectos (Lozano-Zambrano, 2009).

Un ejemplo que respalda esta posibilidad es el proyecto “Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes colombianos”. El cual tuvo como objetivo preservar una proporción significativa de la biodiversidad original al promover corredores entre remanentes de ecosistemas naturales y sistemas productivos en paisajes rurales transformados. En esta se destaca la estrategia de restitución de la conectividad estructural de fragmentos de bosque andino y subandino en un sector de Cundinamarca. Este enfoque involucró el desarrollo de herramientas de manejo del paisaje junto con el establecimiento de alternativas agroforestales y silvopastoriles en compañía de diferentes actores, con el fin de mejorar la planificación del paisaje y mantener la oferta de servicios ecosistémicos (Vargas *et al.*, 2009). Esto evidencia como la conectividad ecológica ayuda a reducir la fragmentación del paisaje, permitiendo el intercambio genético entre poblaciones de especies. Hecho que refuerza el concepto de que los ecosistemas interconectados son más resilientes, capaces de sostener poblaciones saludables y por ende la generación de servicios ecosistémicos que benefician tanto a la naturaleza como a la sociedad.

6.4.3.2 Mecanismos orientados a la sostenibilidad de las actividades socioeconómicas. A pesar de que los monocultivos abarcan grandes extensiones y su estructura uniforme dificulta implementar prácticas sostenibles, constituyen aliados en las estrategias de conservación. Por el contrario, si se aplican medidas de manejo ambiental, estos sistemas productivos podrían contribuir positivamente a los esfuerzos de conservación y al fortalecimiento de la conectividad del paisaje. La implementación de prácticas de manejo sostenible en las principales actividades económicas del municipio: el cultivo de arroz, la palma de aceite y la ganadería, contribuirían a mejorar la conexión de los remanentes naturales.

En el caso de la palma de aceite y el arroz, se propone fomentar la implementación de corredores productivos en las franjas de vegetación ribereña y márgenes de cultivos con especies nativas para facilitar el desplazamiento de la fauna silvestre entre relictos de bosque y cuerpos de agua. En cuanto a la ganadería, se destaca la importancia de los sistemas silvopastoriles y el establecimiento de linderos de cercas vivas como elementos funcionales de conectividad, la cual se trató anteriormente su efectividad.

De manera complementaria, se considera fundamental fortalecer los procesos de sensibilización ambiental en la zona rural, dirigida especialmente a grandes y pequeños agricultores y ganaderos del municipio. A través de estrategias de educación ambiental y visitas a de acompañamiento técnico a los predios. Con el fin de concientizar sobre el rol que juegan en las acciones de implementación de los mecanismos propuestos para el fortalecimiento de la conectividad. Así mismo, de manera transversal la importancia de la conservación en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

7 Conclusiones

Los resultados del análisis de las coberturas de la tierra evidencio una transformación del paisaje del municipio de San Carlos de Guaroa entre 1985 y 2025, asociada principalmente a la expansión agroindustrial, con un crecimiento de los monocultivos de palma de aceite, cuya cobertura aumentó del 2.5% al 34.6%. Esta dinámica ha sustituido coberturas dedicadas a la ganadería como los pastos limpios, que disminuyeron un 47%. Lo que consolida al municipio como un territorio de vocación agropecuaria, con más del 70% de su superficie dedicada a la actividad agropecuaria.

Simultáneamente, las coberturas naturales registraron una pérdida del 7.2%. Siendo las coberturas boscosas las que obtuvieron la mayor pérdida respecto a 1985 (14.1%) entre bosques de galería y bosques densos altos de tierra firme. Lo cual implica una pérdida significativa de hábitats clave para la biodiversidad. Por otra parte, se destaca un significativo aumento de la vegetación secundaria en un 146.6%. Aunque es un importante número, su crecimiento no compensa ecológicamente la pérdida de las áreas boscosas, debido a la carencia de la estructura necesaria para sostener la diversidad biológica del área. Lo expuesto anteriormente, también se confirmó en el análisis de mosaicos del paisaje, donde se obtuvo que el 37% del territorio presenta una dominancia exclusivamente agrícola, mientras que el 8% es cobertura natural.

Por otra parte, los análisis de la configuración espacial entre 1985 y 2025, evidenciaron un aumento de la fragmentación de las coberturas naturales, reflejada en la disminución del tamaño de los parches y el aumento de fragmentos. El descenso de las categorías asociadas a baja intervención (“interior” e “intact”), disminuyeron un 27% y 49% respectivamente. En comparación con las categorías “Patchy” y “Transitional”, que presentaron un incremento del 7% y 22%. En términos de conectividad, esta disminuyó en un 1.88% respecto al año 1985. De igual manera, se reflejó en el grado de coherencia con un valor menor al 20%. Lo que evidencia que la configuración actual del paisaje no facilita el flujo entre los parches de cobertura boscosa, especialmente hacia el noreste, centro sur y sureste del municipio donde se observan las mayores afectaciones. A esto se suma, una baja heterogeneidad del paisaje, resultado del intenso uso del suelo dedicado a las actividades agrícolas en grandes extensiones, que demuestran una afectación sobre las coberturas naturales.

En relación con la perspectiva social y ambiental, se evidenció que el principal motor de transformación del paisaje obedece a una compleja interacción entre prácticas productivas tradicionales y la expansión agroindustrial. La participación de los actores permitió identificar que las actividades agropecuarias, especialmente los monocultivos y la ganadería intensiva, han ejercido una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales, promoviendo la pérdida de hábitats y la homogeneización del paisaje. A ello se suman, factores como la deforestación, los incendios y la ocupación de rondas hídrica que profundizan los procesos de fragmentación. De igual forma, el deterioro de los cuerpos de agua y la contaminación resaltan la necesidad de implementar estrategias de gestión territorial que integren prácticas productivas sostenibles. Adicionalmente, los actores enfatizaron la afectación a la fauna silvestre por atropellamiento habitual en las vías principales del municipio.

En cuanto al modelamiento de hábitats permitió identificar que las coberturas boscosas del sector noreste del municipio presentan una alta idoneidad ecológica para la fauna, con base en 15 especies de mamíferos terrestres no voladores. Por otro lado, se determinaron 1,462 parches, de los cuales se seleccionaron 21 parches como área núcleo con extensiones mayores a 100 ha, que representan el 57% de las coberturas boscosas. Lo anterior con base en el análisis de costos de desplazamiento y conectividad en relación con variables bióticas, abióticas y de uso del suelo, se proponen 19 corredores ecológicos un patrón de orientación hacia el nororiente y oriente del municipio. Los sigue en gran medida los patrones naturales de drenaje, con una longitud aproximada de 76 km. Adicionalmente, se propone un corredor ecológico sobre los afluentes de caño Chipas y caño Los Hornos, aunque no fue identificado directamente en los análisis, la disposición de los fragmentos evidencia un alto potencial para restaurar su conectividad.

Finalmente, con base en lo anterior se proponen dos tipos de mecanismos de conectividad. El primero relacionado con la intervención de la estructura ecológica del paisaje. En lo que se proponen 19 corredores ecológicos, los cuales se alinean con los lineamientos normativos del EOT, los POMCA's de los ríos Guayuriba, Acacías-Pajure y Guamal y la estructura ecológica principal del municipio. Basados en el aprovechamiento de la conectividad ribereña y la recuperación de las rondas hídricas como estrategia para la reconexión de los parches a lo largo de los cuerpos de agua. Para esto se plantean acciones de restauración activa y pasiva, con cercas vivas, sistemas agroforestales y regeneración natural con especies vegetales nativas. Adicionalmente, se sugiere la integración de pasos de fauna. El segundo, se orienta a la sostenibilidad de las actividades

socioeconómicas, en el cual se sugiere la implementación de prácticas sostenibles como linderos de cercas vivas y procesos de sensibilización ambiental dirigida en especial al sector rural. Esto con el fin de asegurar la efectividad del fortalecimiento de la conectividad en el paisaje agropecuario del municipio.

En conclusión, los mecanismos aquí propuestos para la recuperación de las coberturas boscosas en el municipio basados en los corredores ecológicos, es útil para las instituciones gubernamentales, autoridades ambientales y diversos actores en el territorio, pues funciona como base para la identificación y priorización de zonas clave para el desarrollo de acciones de conservación a largo plazo.

8 Recomendaciones y propuestas de futuras investigaciones

En primer lugar, se recomienda profundizar en el estudio ecológico y comportamental de especies clave de la fauna silvestre con presencia en el municipio. Preferiblemente, especies sombrilla, como mamíferos o aves. Con el fin de identificar de manera más precisa rutas de desplazamiento, requerimientos de hábitat y patrones de uso del paisaje. Esta información permitiría precisar el diseño de los corredores de conectividad propuestos, enfocando los esfuerzos de conservación y restauración en áreas críticas para las especies. Así mismo, utilizarla para fomentar la conservación entre los habitantes y asegurar la efectividad en la protección.

En segundo lugar, es fundamental generar estudios específicos sobre el atropellamiento de fauna silvestre en el municipio, con el fin de identificar los tramos viales de mayor incidencia y las especies más afectadas. Esta información permitiría sustentar técnicamente la necesidad de implementar pasos de fauna u otras medidas de mitigación que reduzcan la mortalidad de individuos en las vías. El cual al ser integrado en la planificación también promueve la conectividad ecológica.

En tercer lugar, se sugiere realizar un inventario florístico detallado de las coberturas naturales del municipio, en el que se analice la estructura y composición de la vegetación. Con el fin, de tener una base de las especies pioneras nativas y de sucesión secundaria, que pueden ser utilizadas en la implementación de los corredores ecológicos y cercas vivas. De igual forma, esta información sería clave para el enriquecimiento de fragmentos que presenten baja diversidad, con el propósito de mejorar la conectividad estructural y funcional del paisaje.

En cuarto lugar, es fundamental fortalecer las investigaciones en el municipio mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y la ampliación de la cartografía básica. Estas herramientas son esenciales para una adecuada planificación del territorio, especialmente frente a desafíos como el cambio climático y la gestión del riesgo por inundaciones, que representan problemáticas prioritarias en el municipio.

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio sirven como base para la integración en los instrumentos de planificación territorial mediante espacios de diálogo con la administración municipal y otras autoridades, con el fin de fortalecer la conservación de la biodiversidad. De manera que futuras investigaciones podrían profundizar en la aplicación de estrategias para la implementación de la conectividad ecológica en el municipio.

9 Referencias bibliográficas

- Acosta, W., & Casallas, E. (2019). Evaluación del cambio de coberturas de la tierra y efecto de la expansión de la palma de aceite en el Municipio de San Carlos de Guaroa, Meta. [*Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/24604>
- Alcaldía de San Carlos de Guaroa. (2016). Plan de Desarrollo Territorial de San Carlos de Guaroa – Meta “Firmes por un futuro Mejor 2016-2019”. Secretaria de Planeación. https://sancarlosdeguaroameta.micolombiadigital.gov.co/sites/sancarlosdeguaroameta/content/files/000130/6488_documento-tecnico-pdt-20162019.pdf
- Altieri, M. (2009). Los impactos ecológicos de los sistemas de producción de biocombustibles a base de monocultivos a gran escala en América. *Agroecología*, 4, 59-67. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117191>
- Ament, R., Callahan, R., McClure, M., Reuling, M., & Tabor, G. (2014). *Wildlife connectivity fundamentals for conservation action*. Center for Large Landscape Conservation. <https://largelandscapes.org/wp-content/uploads/2019/05/Wildlife-Connectivity-Fundamentals-for-Conservation-Action.pdf>
- Andrade, G., & Castro, L. (2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia Invitación a una interpretación socioecológica. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 53-71. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/3196>
- Andrade, M. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 491-507. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.35\(137\).2011.2424](https://doi.org/10.18257/raccefyn.35(137).2011.2424)
- Arasa, R., Arroyo, V., & Andresen, E. (2021). El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: Causas y consecuencias. *Ecosistemas*, 30(3), 2156. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2156>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991, julio 6). Constitución Política de Colombia de 1991. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=4125

- Baguette, M., & Van Dyck, H. (2007). Landscape connectivity and animal behavior: Functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology*, 22, 1117-1129. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9108-4>
- Beier, P., & Noss, R. F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity?. *Conservation Biology*, 12(6), 1241-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
- Bennett, A. (2004). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/FR-021-Es.pdf>
- Bennett, A., & Saunders, D. (2010). Chapter 5: Habitat fragmentation and landscape change. En *Conservation Biology for All* (págs. 88-106). Oxford University Press. https://conbio.org/images/content_publications/Chapter5.pdf
- Berenguer, E., Armenteras, D., Lees, A C., Fearnside, P. M., Alencar, A., Almeida, C., Aragão, L., Barlow, J., Bilbao, B., Brando, P., Bynoe, P., Finer, M., Flores, B.M., Jenkins, C. N., Silva JR, C., Smith, C., Souza, C., García-Vilacorta, R., & Nascimento, N. (2024). Drivers and impacts of deforestation and degradation in the Amazon: A review. *Acta Amazonica* 54(spe1): e54es22342. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202203420>
- Briceño, G. (2023). *Ecología: Conceptos y aplicaciones para latinoamérica*. Alpha Editorial. <https://books.google.com.co/books?id=-tavEAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- Carretero, X. (2010). Uso de cercas vivas como corredores biológicos por primates en los Llanos Orientales. En *Primatología en Colombia: Avances al principio del Milenio* (págs. 91-97). Fundación Universitaria San Martín. https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Defler-2/publication/232709101_Esta_presente_Callicebus_lugens_en_Colombia/links/09e41508d5904b4ff7000000/Esta-presente-Callicebus-lugens-en-Colombia.pdf
- Carvajal, F. (2021). La conectividad ecológica en el ordenamiento territorial: Una mirada a la regulación del paisaje natural de Medellín. *[Trabajo de grado, Universidad EAFIT]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10784/29603>
- Chacón, J., Figel, J., Rojano, C., Racero-Casarrubia, J., Humanez-López, E., & Padilla, H. (2017). Actualización de la distribución e identificación de áreas prioritarias para la conservación de una especie olvidada: El hormiguero gigante en Colombia. *Edentata*, 18, 12-25. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.Edentata-18-1.3.en>

- Colorado, G. J., Vásquez, J. L., & Mazo, I. N. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Concejo Municipal de San Carlos de Guaroa. (2015, 29 de diciembre). Acuerdo 020 de 2015. "Por medio del cual se adopta esquema de ordenamiento territorial del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta para la vigencia 2015-2027 y se dictan otras disposiciones". https://sancarlosdeguaroameta.micolombiadigital.gov.co/sites/sancarlosdeguaroameta/content/files/000372/18571_dts-acuerdo-020-2015-scg-eot.pdf
- Convenio sobre Diversidad Biológica. (2022, 18 de diciembre). Marco mundial Kunming-Montreal de la diversidad biológica. <https://www.cbd.int/doc/c/2c37/244c/133052cdb1ff4d5556ffac94/cop-15-l-25-es.pdf>
- Correa, C. A., Mendoza, M. E., Etter, A., & Pérez Salicrup, D. R. (2017). Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators*, 72, 895-909. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.007>
- Cuesta, E. Y. (2011). Evidencia de la conectividad ecológica del cerro Tacarcuna, expresada en la presencia y distribución de mamíferos terrestres neotropicales. *Bioetnia*, 8(2), 155-162. <https://doi.org/10.51641/bioetnia.v8i2.42>
- Daza, J. (2019). Caracterización social de municipios que implementan cultivos de palma para agrocombustibles: Caso San Carlos de Guaroa. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/7377>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) & Federación Nacional de Arroceros de Colombia (Fedearroz). (2024, 21 de marzo). Quinto Censo Nacional Arrocero 2023. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-arrocero>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021, 27 de septiembre). Documento CONPES 4050. Política para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas—SINAP. Consejo Nacional de Política Económica y Social. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col214686.pdf>

- Devia, C. Y., & Piñeros, R. (2021). Dinámica territorial del extractivismo agrícola y petrolero a comienzos del siglo XXI en el departamento del Meta, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 26(1), 37-62. <https://doi.org/10.19053/01233769.11106>
- Díaz, F., & Schmitz, M. F. (Eds.). (2011). *Conectividad Ecológica Territorial. Estudio de casos de conectividad ecológica y socioecológica*. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). <https://hdl.handle.net/20.500.14352/46860>
- Díaz, T., Isaacs-Cubides, I., & Arce, M. (2019). Vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap2/201/>
- Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Fajardo, A., Veneklaas, E., Obregón, S., & Beaulieu, N. (2000). *Los Bosques de Galería. Guía para su apreciación y su conservación*. Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT. <https://core.ac.uk/download/pdf/132686963.pdf>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2025). *Sistema de Información Estadística Palmera—SISPA PLUS*. Fedepalma. <https://sispalplus.fedepalma.org/>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023, agosto 22). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. FAO. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Forero-Gómez, Y. K., Gil-Leguizamón, P. A., & Morales-Puentes, M. E. (2020). Conectividad estructural entre los Páramos de Guacheneque y Los Cristales, complejo Rabanal-río Bogotá, Colombia. *Revista de Teledetección*, 57, 65-77. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13946>

- García, J., & Díaz, J. (2020). Heterogeneidad de los paisajes agropecuarios. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2020/cap4/407/>
- Guariguata, M., & Kattan, G. (Eds.). (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (1a ed.). Libro Universitario Regional - LUR. https://simehbucket.s3.amazonaws.com/miscfiles/bosques-neotropicales_zqn5habl.pdf
- Gurrutxaga, M., & Lozano, P. (2010). Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats. *Lurralde : invest. espac.*, 33, 147-158. <https://www.ingea.org/lurralde/lurranet/lur33/33gurrutxaga/33gurrutxaga.pdf>
- Gurrutxaga, M., & Lozano, V. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Revista de Geografía*, 16, 35-54. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>
- Gurrutxaga, M., & Lozano, V. (2007). Criterios para contemplar la conectividad del paisaje en la planificación territorial y sectorial. *Investigaciones Geográficas*, 44, 75-88. <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.44.04>
- Gurrutxaga, M., & Lozano, V. (2009). La integración de la conectividad ecológica en los instrumentos de ordenación y planificación territorial: Una revisión. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 49, 45-66. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/774>
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M., Ibrahim, M., Gomez, R., Taylor, R., Martínez, J., Navas, A., Sáenz, J., Sánchez, D., Medina, A., Vilchez, S., Hernández, B., Pérez, A., Ruiz, F., López, F., ... Sinclair, F. L. (2003). Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas*, 10, 30-39. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5963>
- Henson, I. E. (1995). Impactos ambientales de las plantaciones de palma de aceite en Malasia. *Palmas*, 16(4), 49-66. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/490>
- Herrera, A., Castro, X., Araque, G., Becerra, L., Angulo, D., & Pérez, K. (2022). Diseño de corredores ecológicos como herramienta de manejo del paisaje para la conservación de

- mamíferos en la Orinoquía. *Orinoquia*, 26(2), e-781.
<https://doi.org/10.22579/20112629.781>
- Hilty, J., Keeley, A., & Merenlender, A. (2019). *Corridor Ecology. Linking Landscapes for Biodiversity Conservation and Climate Adaptation* (2a ed.). Island Press.
<https://books.google.com.co/books?id=t8yJDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B. J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, W. J., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., Groves, C., & Tabor, G. M. (2021). *Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.es>
- Hurtado, G., González, O., Cadena, M., Benavides, H., Rúiz, F., Montealegre, E., Ortiz, J., & Montoya, R. (2017). Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. <https://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/>
- 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. Proyecto Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el corazón de la Amazonía*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/26.-Metodologia-estudios-de-fragmentacion-del-paisaje-motores-de-fragmentacion-y-conectividad-ecologica-a-escalas-regional-subregional-y-local.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2025, mayo 14). Censo Nacional Bovino 2025. Instituto Colombiano Agropecuario.
<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/bol/epi/boletines-seccionales/num-bovinos.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
https://www.corpocesar.gov.co/files/Ref_UnicoyPersistente/Corine_Land_Cover.pdf

- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). (2024, abril 16). Reporte Bio: Nueva radiografía del estado de la biodiversidad en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://www.humboldt.org.co/noticias/reporte-bio-nueva-radiografia-del-estado-de-la-biodiversidad-en-colombia>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2000). Mapa digital de suelos del departamento del Meta [Mapa]. <https://metadatos.icde.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/58fb4039-556d-41ca-a058-c52704fe67de>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2014). Mapa digital de capacidad de uso de las tierras del departamento del Meta [Mapa]. <https://metadatos.icde.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/418be3a3-e05c-4c99-9326-2a0d70fb9e4d>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2018). Base de datos vectorial básica de Colombia [Mapa]. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-89.2109190722644,-1.9851244131543946,-59.284161259772354,11.988529991529452,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=206>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2019). Mapa de pendientes de Colombia [Mapa]. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-89.2109190722644,-1.9851244131543946,-59.284161259772354,11.988529991529452,4686&b=igac&u=0&t=30&servicio=652>.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2012). *Adaptación al cambio climático en México: Visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001364.pdf>
- Isaacs-Cubides, P. J., Trujillo-Ortiz, L. N., & Jaimes, V. (2017). Zonificación de alternativas de conectividad ecológica, restauración y conservación en las microcuencas Curubital, Mugroso, Chisacá y Regadera, cuenca del río Tunjuelo (Distrito Capital de Bogotá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18, 70-88. <https://dx.doi.org/10.21068/c2017.v18s01a04>

- Jiménez, J. (2022). Conectividad ecológica estructural en el municipio de Valparaíso (Caquetá, Colombia): Propuesta de corredores y núcleos de conectividad a escala semidetallada. *Perspectiva Geográfica*, 27(1), 106-124. <https://doi.org/10.19053/01233769.13087>
- Kaeslin, E., Redmond, I., & Dudley, N. (2013). *La fauna silvestre en un clima cambiante*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. <https://www.fao.org/4/i2498s/i2498s.pdf>
- Leija, E. G., & Mendoza, M. E. (2021). Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: Retos de investigación. *Madera y bosques*, 27(1), e2712032. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032>
- Linero-Triana, D., Correa-Ayram, C. A., & Velásquez-Tibatá, J. (2023). Prioritizing ecological connectivity among protected areas in Colombia using a functional approach for birds. *Global Ecology and Conservation*, 48, e02713. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02713>
- Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.). (2009). *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13044>
- MacArthur, R., & Wilson, E. O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt19cc1t2>
- Martínez, A., & DeClerck, F. (2010). El papel de los agroecosistemas y bosques en la conservación de aves dentro de corredores biológicos. *Mesoamericana*, 14(3), 35-51. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/mesoamericana/article/view/929>
- Marín-Uparela, K., Arrieta-Flórez, R., & Guzmán-Vega, Y. (2023). ¿Y para nosotros cuándo? Impactos del monocultivo de palma de aceite en comunidades campesinas en el Caribe colombiano. El caso de María la Baja, Bolívar. *Mundo Agrario*, 24(57), e229. <https://doi.org/10.24215/15155994e229>
- Merriam, G. (1984). Connectivity: A fundamental ecological characteristic of landscape pattern. En *Proceedings First international seminar on methodology in landscape ecological research and planning* (págs. 5-15). International Association for Landscape Ecology.
- Miller, G. (1994). *Ecología y medio ambiente*. Grupo editorial Iberoamericana.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura). (2024). Agronet: Estadísticas agropecuarias. Ministerio de Agricultura. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=4>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), & Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS). (2020). *Corredores de Conectividad Ecológica. Mesa Técnica Ambiental para la formulación de corredores de conectividad ecológica*. Programa ASL GEF Corazón de la Amazonía. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/27a.-Mapa-corredores-conectividad-ecologica.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE)*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Poli%CC%81tica-Nacional-de-Gestio%CC%81n-Integral-de-la-Biodiver.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2022, julio 15). Se reduce y se contiene la deforestación en Colombia durante los últimos cuatro años. <https://www.minambiente.gov.co/se-reduce-y-se-contiene-la-deforestacion-en-colombia-durante-los-ultimos-cuatro-anos/#:~:text=julio%2015%2C%202022-,Se%20reduce%20y%20se%20contiene%20la%20deforestaci%C3%B3n,durante%20los%20%C3%BAltimos%20cuatro%20a%C3%B1os&text=En%20el%202021%20se%20deforestaron,comparaci%C3%B3n%20con%20el%20a%C3%B1o%202020.>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2024). *Plan de Acción de Biodiversidad de Colombia al 2030*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/03/Plan-Accion-Biodiversidad-Colombia-2030.pdf>
- Montes, L. F. (2018). La ética en el desarrollo del urbanismo y ordenamiento territorial en Colombia. *Grafías*, 42, 20-29. <https://doi.org/10.31908/grafias.v0i42.2675>
- Moyano, A., Rusinque, L., & Montoya, G. (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://doi.org/10.35424/rcarto.i104.980>

- Navarro, M., González, L., Flores, R., & Amparán, R. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones. Análisis y reflexión documental*. Universidad de Guadalajara. <http://www.cuc.udg.mx/es/fragmentacion-y-sus-implicaciones-analisis-y-reflexion-documental>
- Palacios, E., & Rodriguez, A. (2001). Ranging pattern and use of space in a group of red howler monkeys (*Alouatta seniculus*) in a southeastern Colombian rainforest. *American Journal of Primatology*, 55(4), 233-251. <https://doi.org/10.1002/ajp.1057>
- Pardo, L., & Ocampo-Peña, N. (2019). Contexto actual del impacto ambiental de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 40(3), 79-88. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12868>
- Payán, E., & Hildebrand, M. (2015). La conectividad a gran escala como herramienta clave para la conservación en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap3/306/>
- Pérez, H., & Pérez, M. (2023). ¿La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) genera un impacto negativo sobre el suelo? Una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50301. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50301>
- Pertuz, A. P., & Santamaría, Á. E. (2014). La palmicultura colombiana: Sostenibilidad económica, social y ambiental. *Tendencias*, 15(1), 173-186. <https://doi.org/10.22267/rtend.141501.55>
- Phillips, S., Dudík, M., & Schapire, R. (2008). Maxent: Software for modeling species niches and distributions (Versión 3.4.4) [Software].
- Presidencia de la República de Colombia. (1974, diciembre 18). Decreto 2811 de 1974, Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial No. 34243. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1551
- Presidencia de la República de Colombia. (1977, junio 27). Decreto 1449 de 1977, Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley número 135 de 1961 y el Decreto-Ley número 2811 de 1974. Diario Oficial No. 34827. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1503
- Presidencia de la República de Colombia. (1978, agosto 4). Decreto 1715 de 1978, Por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto-Ley 154 de 1976, en cuanto a protección del paisaje.

- https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=8578#:~:text=Se%20proh%C3%ADbe%20deformar%20o%20alterar,art%C3%ADsticos%20para%20producir%20tales%20efectos.
- Presidencia de la República de Colombia. (1993, diciembre 22). Ley 99 de 1993, Por la cual se 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, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 41146. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=297
- Presidencia de la República de Colombia. (1994, junio 2). Ley 136 de 1994, Por la cual se dictan normas tendientes a modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios. Diario Oficial 41.377. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=329
- Presidencia de la República de Colombia. (1997, julio 18). Ley 388 de 1997, Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989 y la Ley 3ª de 1991, y se dictan otras disposiciones sobre desarrollo territorial. Diario Oficial No. 43.091. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=339
- Presidencia de la República de Colombia. (2007, septiembre 20). Decreto 3600 de 2007, Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial 46.757. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=26993
- Presidencia de la República de Colombia. (2015, mayo 26). Decreto 1076 de 2015, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial 49523. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- QGIS Association. (2024). QGIS (Versión 3.34.11) [Software]. <http://www.qgis.org>
- Rabinowitz, A., & Zeller, K. (2010). Un modelo de conectividad de paisaje y conservación para el jaguar, *Panthera onca*, a lo largo de su distribución. *Biological Conservation*, 143, 939-945. Recuperado a partir de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/modelo_de_conectividad_alan_ra.pdf.

- Rangel-Ch, J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: Significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176-200. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Rincón-Aranguri, M., Reyes, M., Pachon-Garcia, J., Eslava-Mocha, P. R., Astwood-Romero, J., & Parra-Sandoval, C. (2015). *Atropellamiento de fauna silvestre en la red vial, una amenaza real en el departamento del Meta, una amenaza real. Primer diagnóstico*. Corporación Para El Desarrollo Sostenible Del Área de Manejo Especial La Macarena - CORMACARENA. Universidad de Los Llanos, 44. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21667.35367>
- Ríos, G., & Reyes, C. (2015). Corredor ecológico Llanganates-Sangay: Un acercamiento hacia su manejo y funcionalidad. *Yachana*, 4(2), 11-21. <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/220>
- Robles, R. (2009). *Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - CONABIO y Corredor Biológico Mesoamericano México - CBMM. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/A2UMA.pdf
- Rojas, J. (2016). Transformaciones ambientales generadas por la expansión del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en el departamento del Meta. [Trabajo de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59422>
- Rojas, J., & Castiblanco, C. (2018). Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 59-68. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69096>
- Rosenberg, D. K., Noon, B. R., & Meslow, E. C. (1997). Biological Corridors: Form, Function, and Efficacy. *BioScience*, 47(10), 677-687. <https://doi.org/10.2307/1313208>
- Sajbin, M. (2024). *Desvelando las repercusiones sociales del monocultivo de palma aceitera en Montes de María en Colombia. Estudio de caso*. SOLIDAR y MPDL. <https://www.mpd.org/sites/default/files/240425-cultivo-palma-aceitera-colombia.pdf>
- Salazar, S., & Buitrago, C. (Eds.). (2018). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

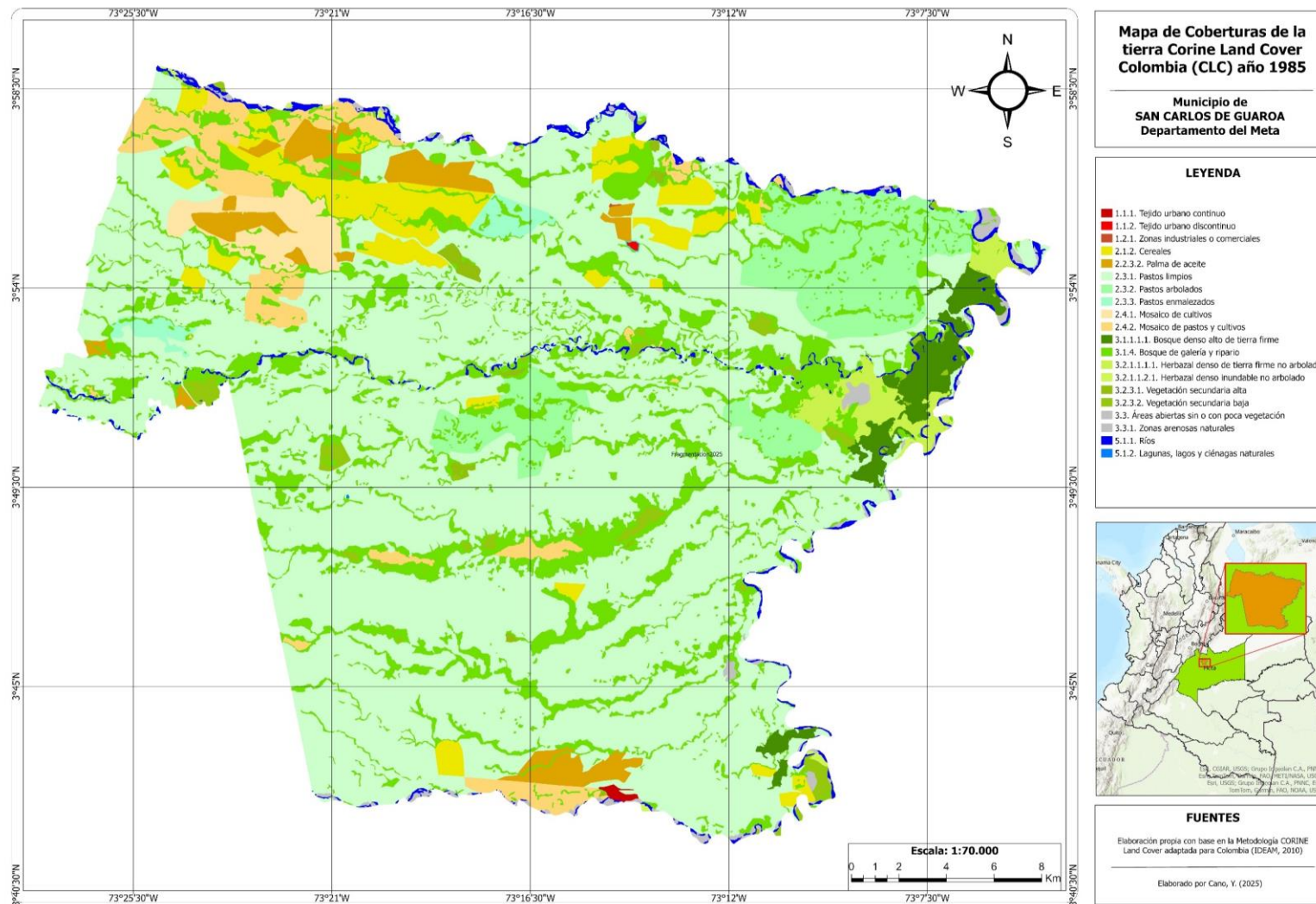
- <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/18.-Anexo-18-Guia-Criterios-para-el-acotamiento-de-las-Rondas-Hidricas-1.pdf>
- Salom, R. S., Polisar, J., Quigley, H., & Zeller, K. (2010). Iniciativa del Corredor del Jaguar: Un Corredor Biológico y un Compromiso a Largo Plazo para la Conservación. *Mesoamericana*, 14(3), 25-34. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/mesoamericana/article/view/928>
- Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: Efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2), 3-12. Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/180>.
- Sarmiento, F. (2000). *Diccionario de ecología: Paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Abya Yala. Sarmient. <https://books.google.com.co/books?id=vt1BF53n3woC&lpg=PP3&hl=es&pg=PP3#v=onepage&q&f=false>
- Schlaepfer, D. R., Braschler, B., Rusterholz, H.-P., & Baur, B. (2018). Genetic effects of anthropogenic habitat fragmentation on remnant animal and plant populations: A meta-analysis. *Ecosphere*, 9(10), e02488. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2488>
- Secretaría de Planeación. (2024). *Sector Agropecuario. Caracterización Sistemas Productivos*. Alcaldía Municipal de San Carlos de Guaroa.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). Atlas Geológico de Colombia [Mapa]. https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/agc_500K2015.aspx
- Sevilla, R. (1997). La expansión de la frontera agrícola y los orígenes de la industrialización colombiana. En *Entre Puebla de los Ángeles y Sevilla. Estudios Americanistas en homenaje al Dr. José Antonio Calderón Quijano* (págs. 195-214). Universidad de Sevilla.
- SiB Colombia. (2025). Biodiversidad en cifras. Sistema de Información Sobre Biodiversidad de Colombia. <https://cifras.biodiversidad.co/colombia>
- Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68, 571-572. <https://doi.org/10.2307/3544927>
- Tischendorf, L., & Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), 7-19. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x>
- Tucker, M. A., Böhning-Gaese, K., Fagan, W. F., Fryxell, J. M., Van Moorter, B., Alberts, S. C., Ali, A. H., Allen, A. M., Attias, N., Avgar, T., Bartlam-Brooks, H., Bayarbaatar, B., Belant,

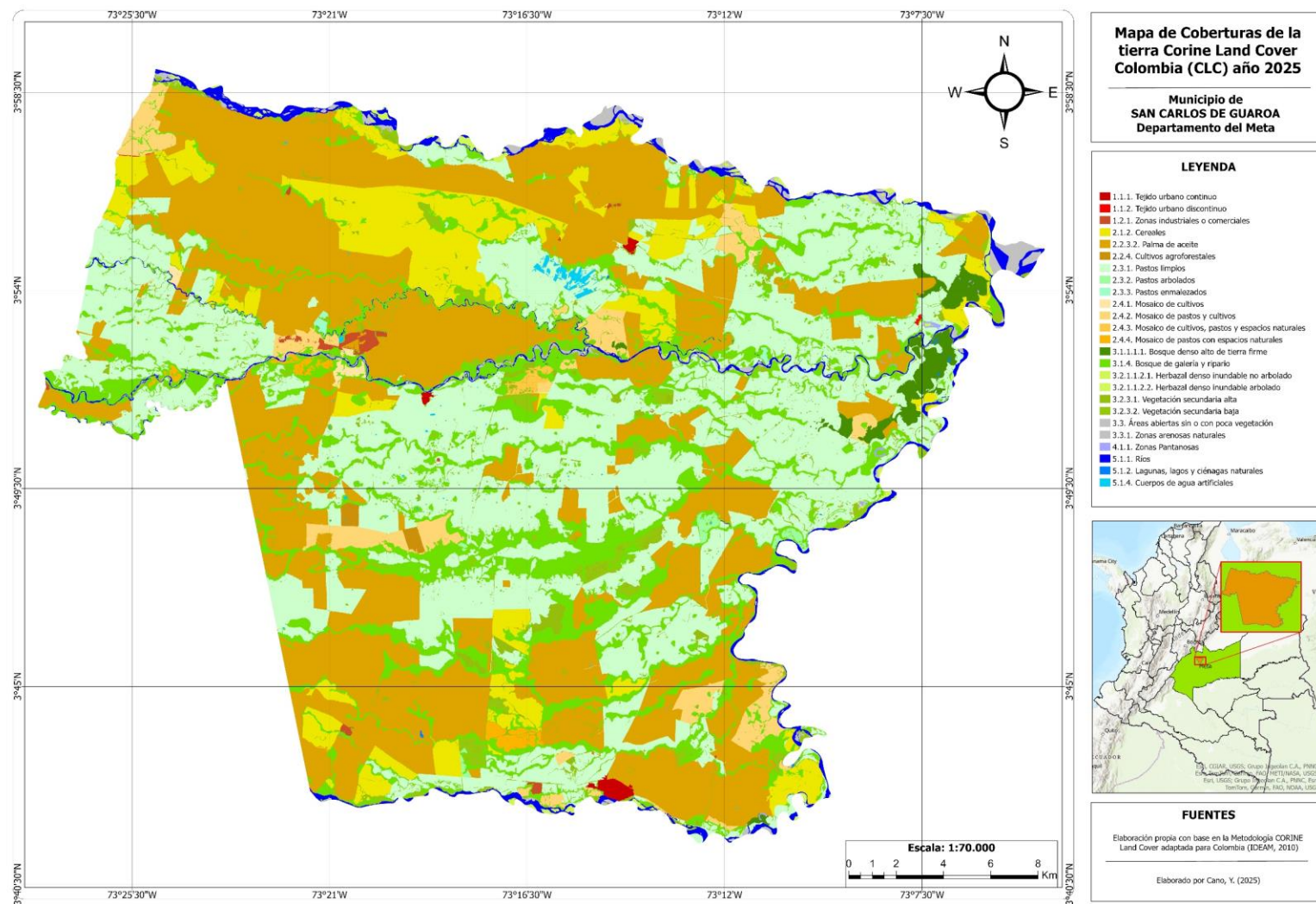
- J. L., Bertassoni, A., Beyer, D., Bidner, L., van Beest, F. M., Blake, S., Blaum, N., ... Mueller, T. (2018). Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science*, 359(6374), 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>
- Turner, I. M. (1996). Species Loss in Fragments of Tropical Rain Forest: A Review of the Evidence. *Journal of Applied Ecology*, 33(2), 200-209. <https://doi.org/10.2307/2404743>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023). Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA). Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. <https://experience.arcgis.com/experience/17859d5712b046fca6b0df5781e0b560>
- Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (UDGRD). (2023). *Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del Departamento del Meta. https://devx.meta.gov.co/media/pagina/documentacion/2024/05/08/PDGRD_2023.pdf
- Vargas, W., Guerra, G., Lozano, F., Gutiérrez, R., Mejía, O., & Cardona, C. (2009). Estrategia de conservación de la biodiversidad y restitución de la conectividad estructural de fragmentos de bosque andino y subandino en el sector de la Reserva Forestal Laguna de Pedro Palo-Cerro Manjuí y el DMI Cuchilla de Peñas Blancas y El Subia en Cundinamarca. En *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales* (págs. 179-237). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13044>
- Vela, M., & Marín, L. (2013). Implementación de estudios en conectividad como herramientas efectivas en la conservación de la biodiversidad. *Boletín Alúna*, 4(2), 6-10. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/23033/20448/145160>
- Vogt, P. (2024). GuidosToolbox (GTB) (Versión 3.3) [software]. European Commission. <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lpa/gtb/>
- Vogt, P., & Riitters, K. (2017). GuidosToolbox: Universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 352-361. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1330650>
- Vogt, P., Wickham, J., Barredo, J. I., & Riitters, K. (2024). Revisiting the Landscape Mosaic model. *PLOS ONE*, 19(5), e0304215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304215>

With, K. A. (1997). The Application of Neutral Landscape Models in Conservation Biology. *Conservation Biology*, 11(5), 1069-1080. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96210.x>

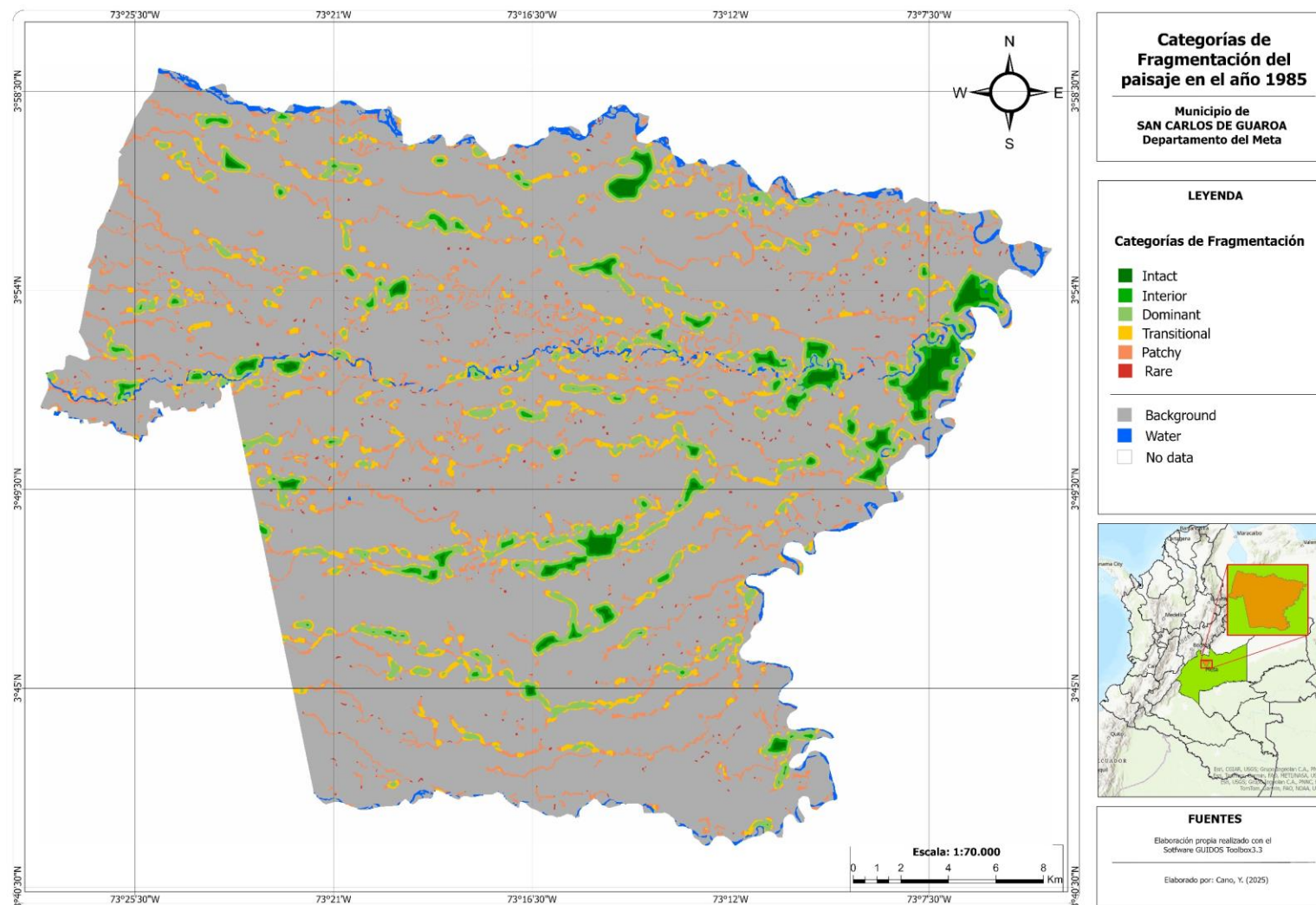
Anexos

Anexo 1. Mapa de Coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover para el municipio de San Carlos de Guaroa, año 1985.

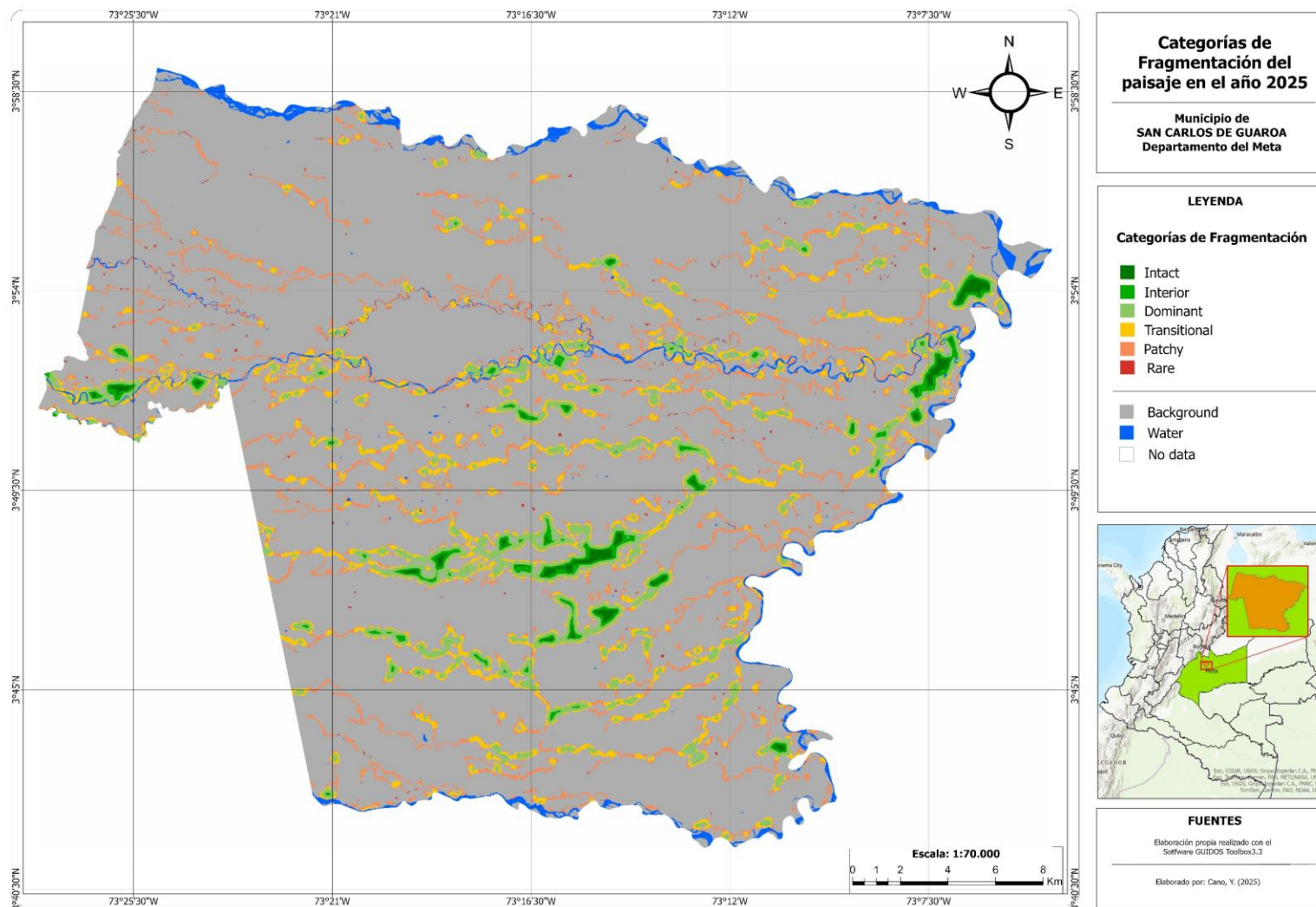


Anexo 2. Mapa de Coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover para el municipio de San Carlos de Guaroa, año 2025.

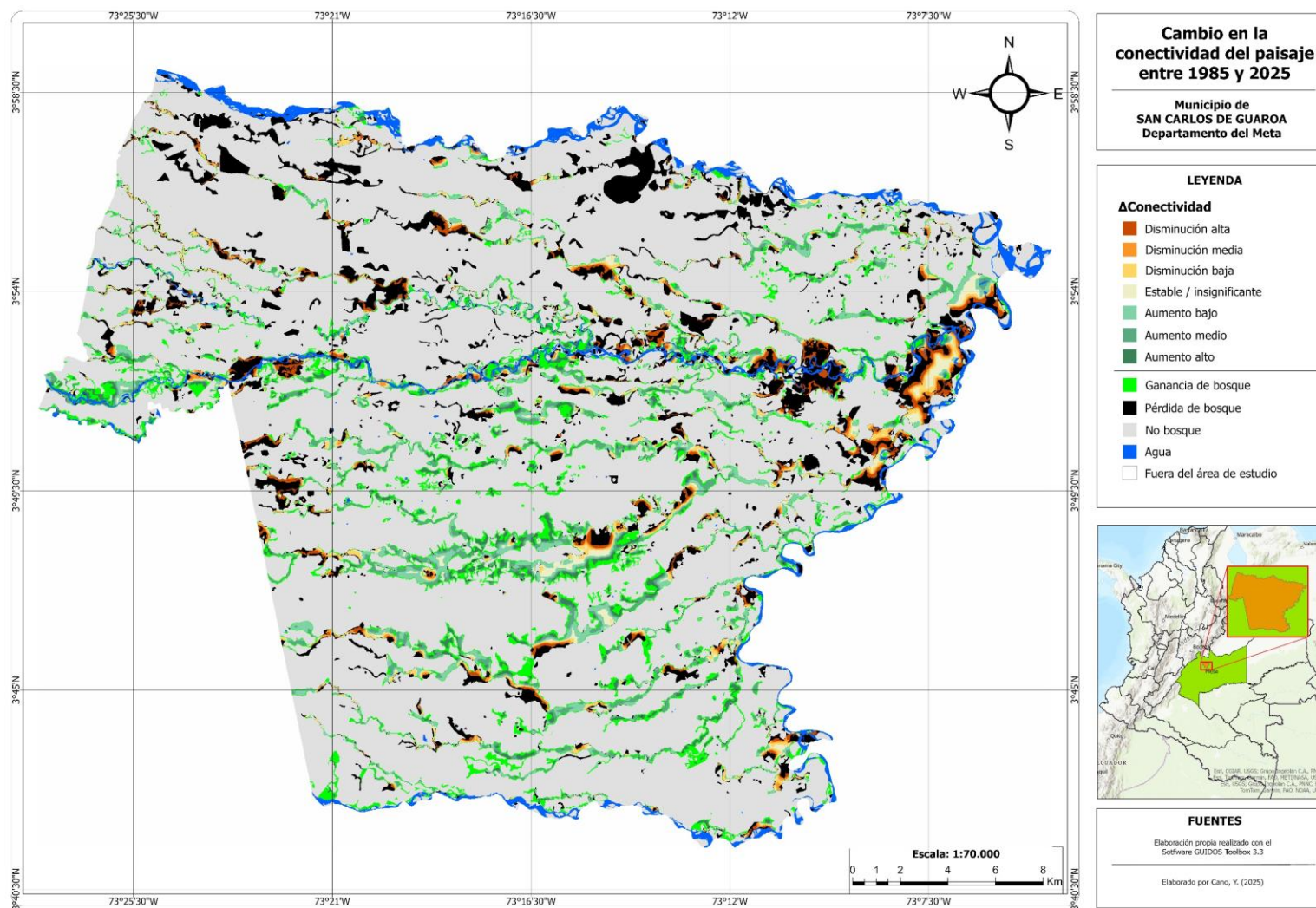
Anexo 3. Mapa de categorías de fragmentación del paisaje del año 1985 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



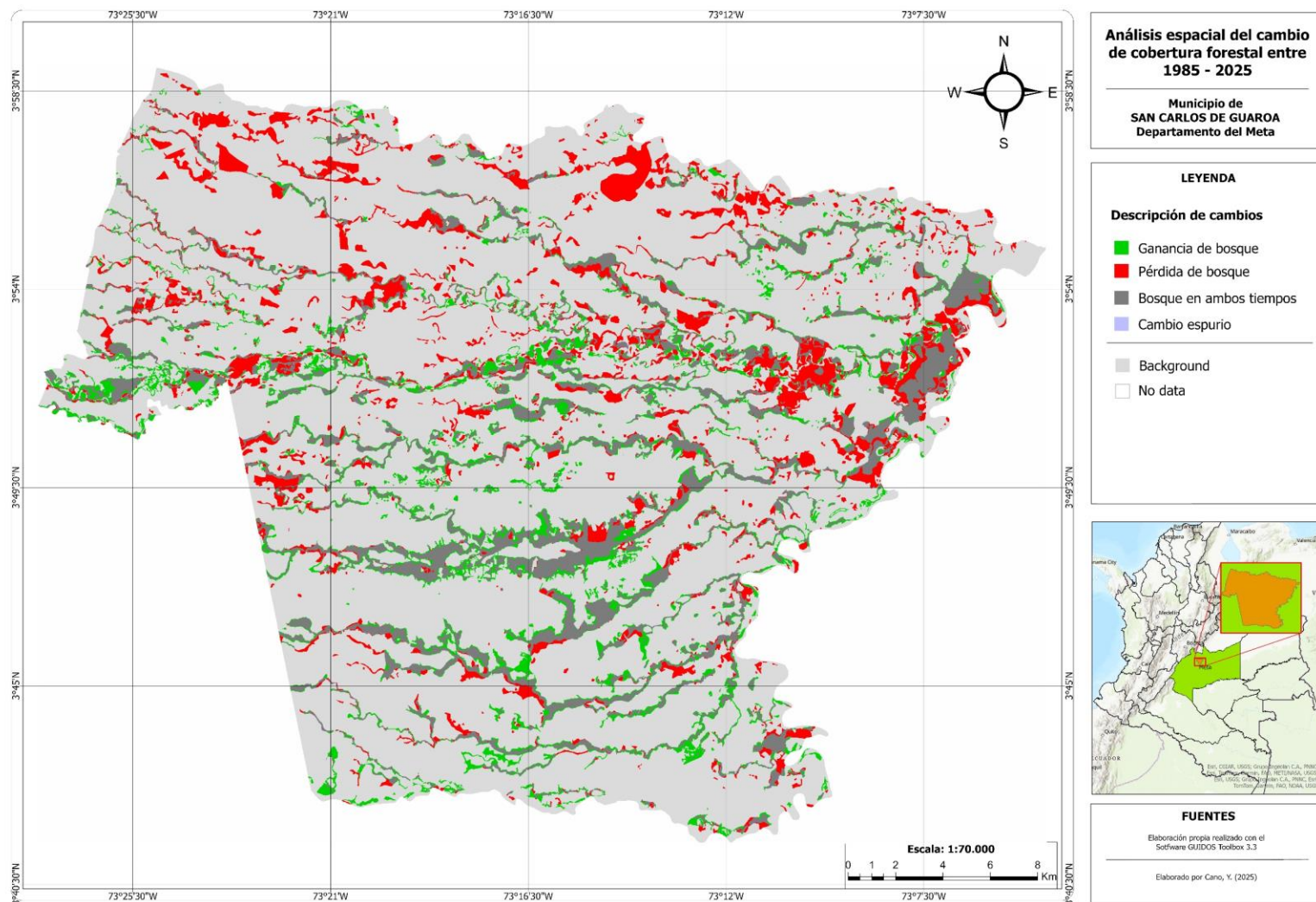
Anexo 4. Mapa de categorías de fragmentación del paisaje del año 2025 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



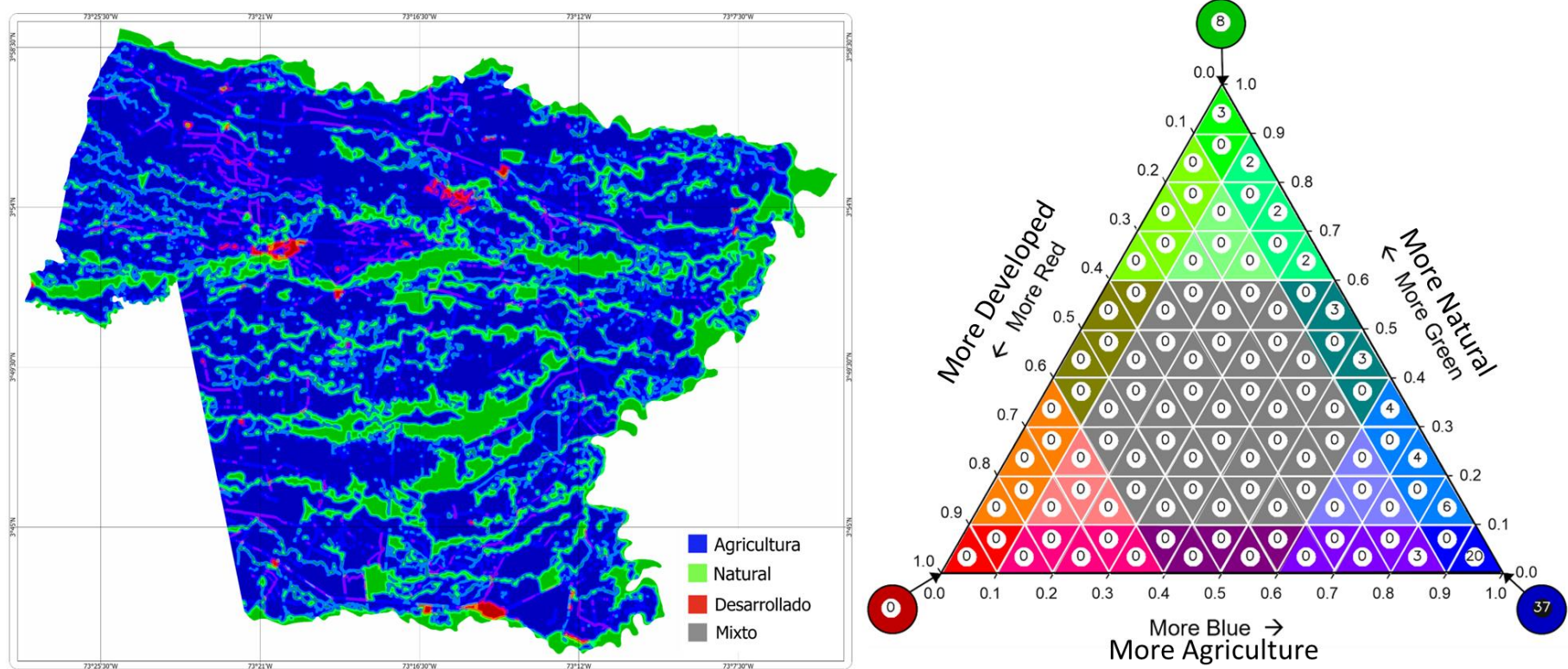
Anexo 5. Mapa de cambios en la conectividad del paisaje entre 1985 y 2025 basado en el análisis FOS Change, en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



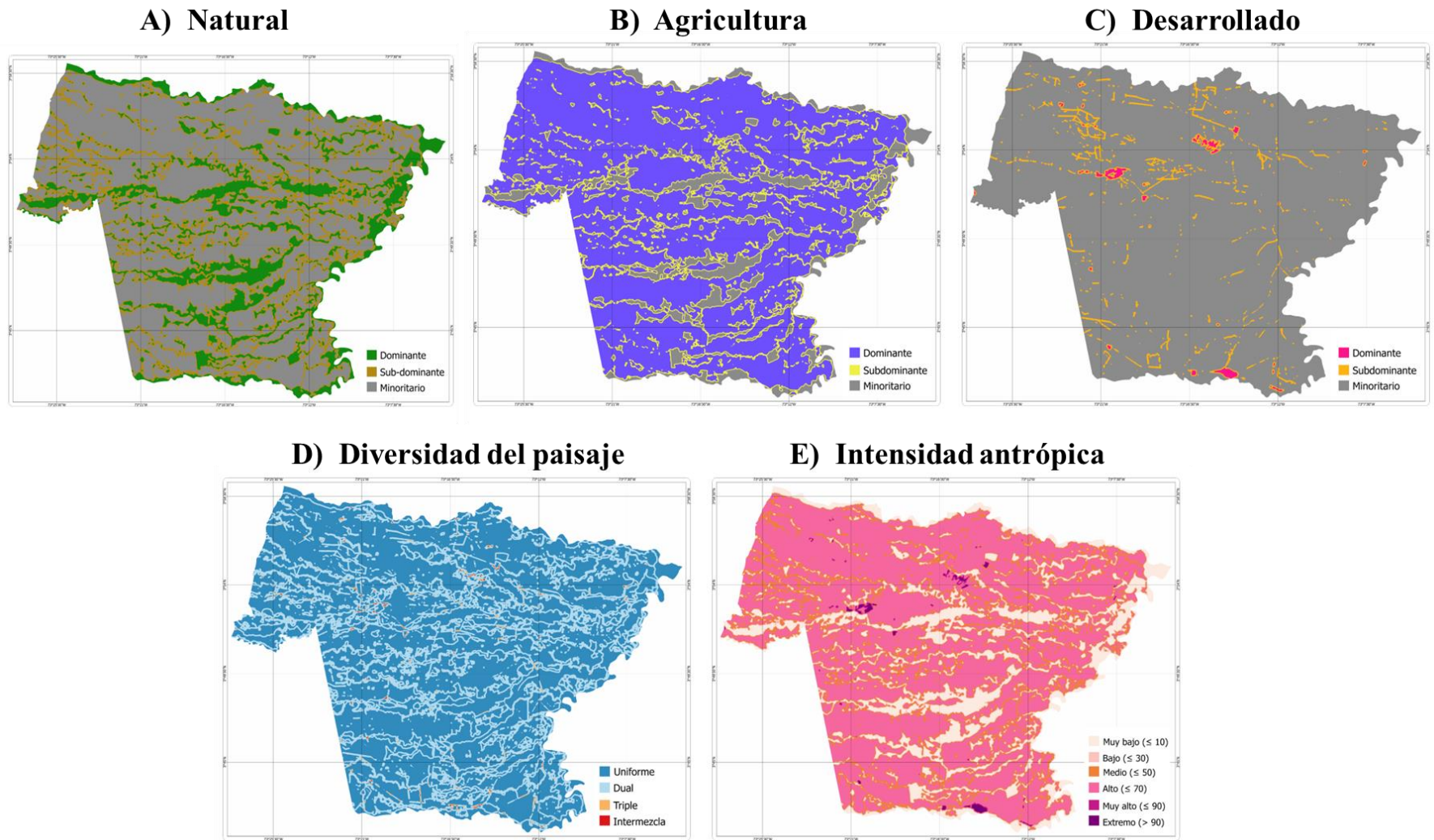
Anexo 6. Mapa del análisis espacial del cambio de cobertura forestal entre 1985-2025 en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



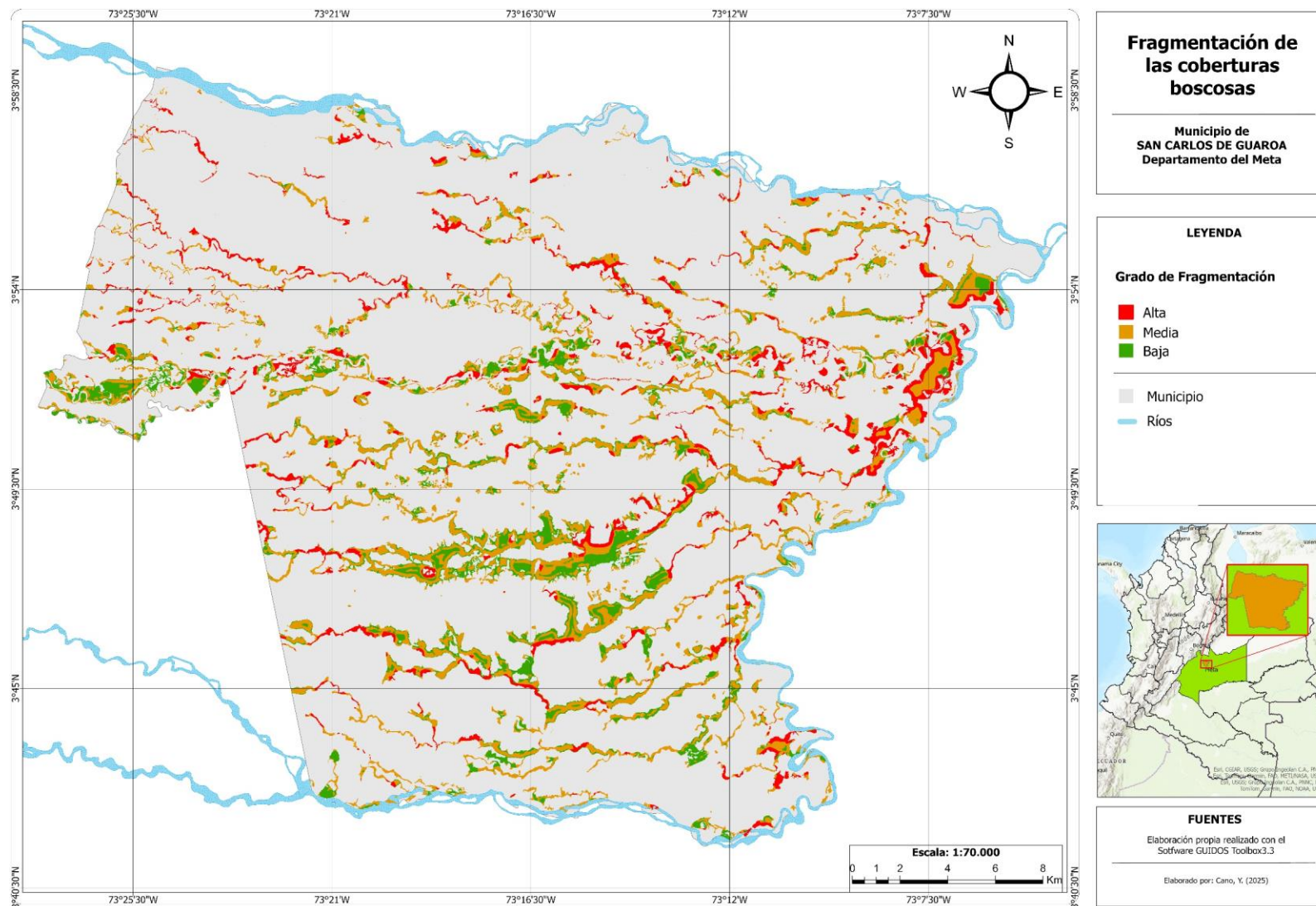
Anexo 7. Mosaico del paisaje y esquema de clasificación tripolar basado en el análisis AND (Agriculture, Natural, Developed), en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



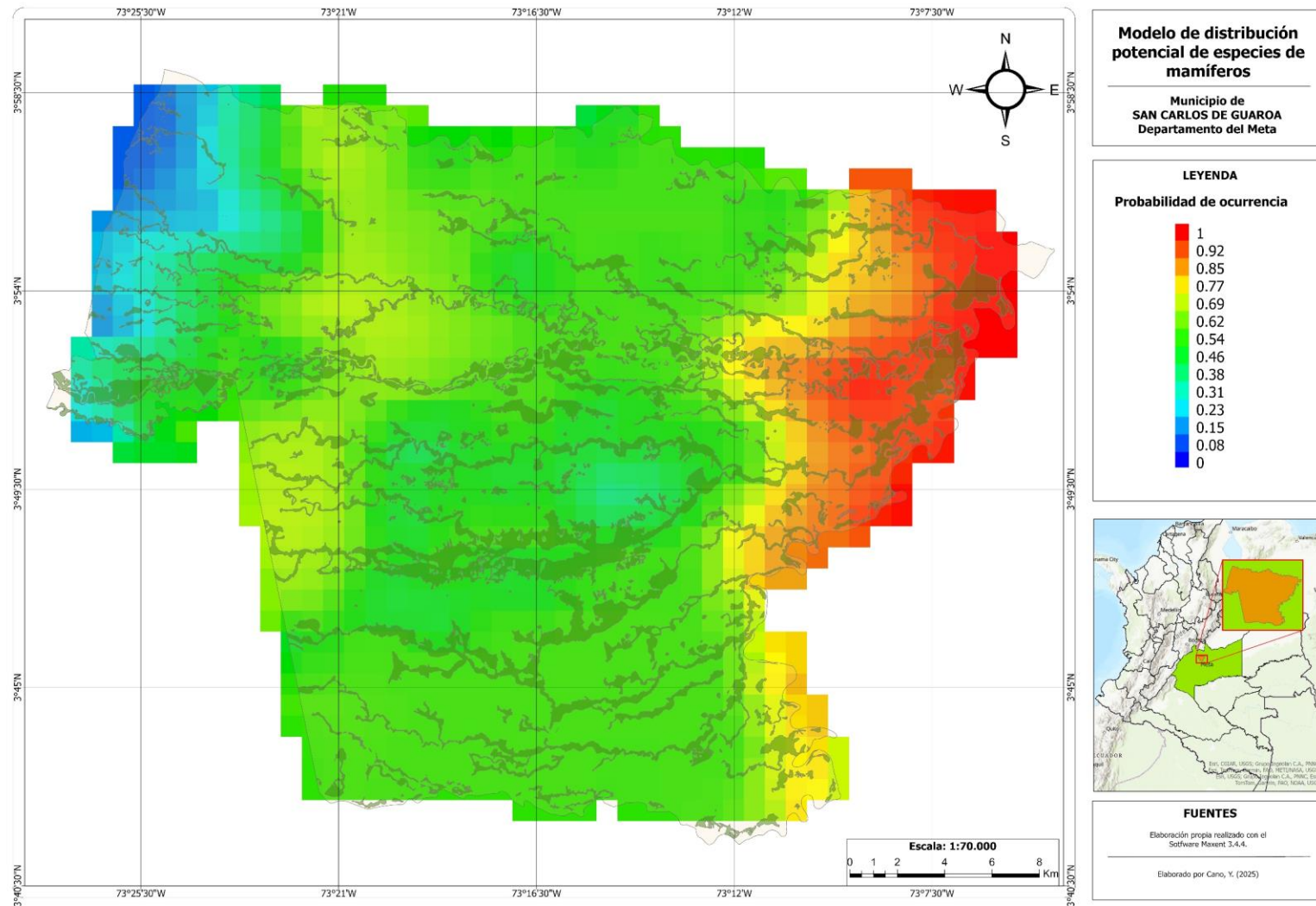
Anexo 8. Composición del mosaico del paisaje según dominancia, diversidad e intensidad, del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



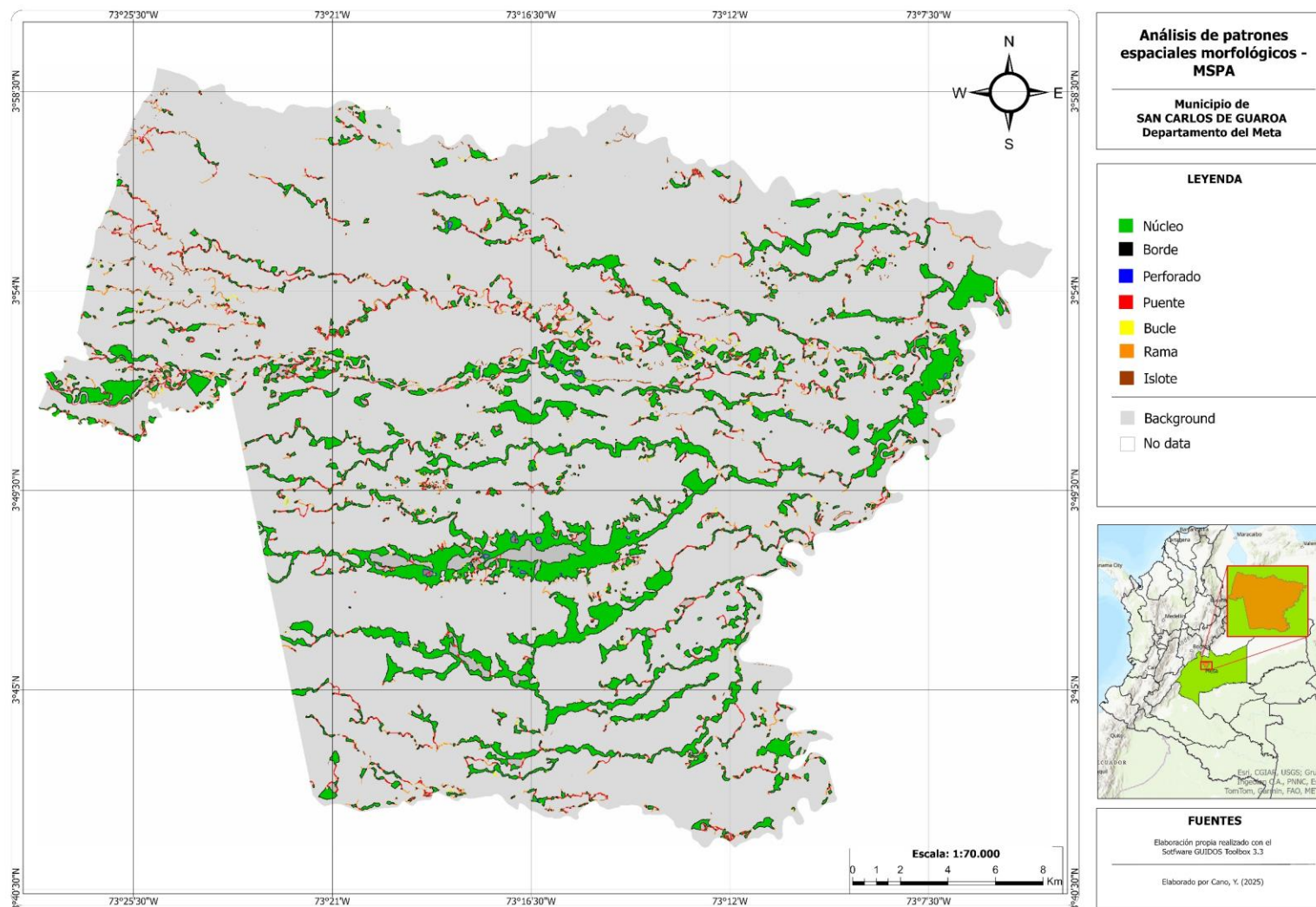
Anexo 9. Mapa de fragmentación de las coberturas boscosas del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



Anexo 10. Mapa del modelo de distribución de las especies del grupo de mamíferos terrestres no voladores registrados en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



Anexo 11. Mapa de distribución espacial de patrones del paisaje en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.



Anexo 12. Propuesta de los mecanismos de conectividad ecológica en el paisaje agropecuario del municipio de San Carlos de Guaroa, Meta.