

MODELO DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA PARA LA PROTECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN CAUCA.

Jesús David Castro Bastidas



Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Popayán – Cauca
2025

MODELO DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA PARA LA PROTECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN CAUCA.

Jesús David Castro Bastidas

Trabajo de Grado modalidad Pasantía para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y
Sanitario

Director

M.Sc. Arnol Arias Hoyos



Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Popayán – Cauca
2025

Nota de Aceptación

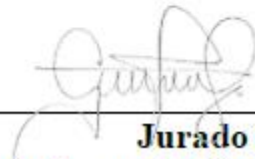
Una vez revisado y aprobado el documento final del trabajo de grado titulado *Modelo de conectividad ecológica para la protección de la flora y la fauna del municipio de Popayán Cauca (2022)*, realizado por el estudiante Jesús David Castro Bastidas, se autoriza para optar el título de profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.



Director.
Arnol Arias Hoyos



Jurado 1.
Diana Milena Muñoz Solarte



Jurado 2.
Edwin Fernando Sierra

Popayán, 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios porque su amor y bondad hacia mí son infinitos, atribuyeron la sabiduría, la inteligencia y las ganas de luchar cada día por hacer realidad mi sueño de convertirme en profesional. A mis amados padres Gentil Castro Meza y Sofia Bastidas Chichande, les doy infinitas gracias por ser ese pilar fundamental en la construcción de mi vida personal y profesional, su lucha constante en sacar adelante a cada uno de sus hijos, los hace meritorios del título que de ahora en adelante llevaré con orgullo, sin duda alguna cada uno de sus sacrificios y duro trabajo valió la pena. A mi hermana Cindy Johana Valois Bastidas por ser mi bastón durante este proceso, y darme la oportunidad de ser el espejo donde refleje la responsabilidad y los deseos de superación a fin de ser un ejemplo para ustedes.

Agradecimientos

Yo Jesús David Castro Bastidas, agradezco a Dios y a la virgen por brindarme la oportunidad de emprender este camino, y darme la fortaleza, paciencia y consistencia necesaria para afrontar cada obstáculo y dificultad que se presentaba, permitiendo así, culminar una etapa de mi vida; agradezco a mi madre Sofia Bastidas Chichande por ser el principal motor de este gran sueño, por su inmenso amor y apoyo incondicional, a mi padre Gentil Castro Meza, le doy infinitas gracias por permitirme celebrar este logro a su lado, me siento orgulloso de los padres que el todopoderoso me concedió, ustedes fueron la base fundamental para convertirme en Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Agradezco a mis demás familiares por todo su apoyo, la confianza que depositaron en mí y por cada una de sus palabras de aliento, a los pocos amigos que en momentos de debilidad siempre estuvieron ahí, por los bellos momentos que compartimos y cada una de las experiencias que vivimos.

Agradezco a la Corporación Universitaria autónoma del Cauca por abrirme sus puertas y ser parte de ella para poder estudiar mi carrera, a mi Director de trabajo de grado Esp. Biólogo Arnol Arias Hoyos por todo su apoyo incondicional en mi proceso de formación, agradezco por permitirme contar con su capacidad y conocimiento, Y por supuesto, considerando tu paciencia excepcional para conducirme en cada paso de mi trabajo de grado, así mismo a los diferentes docentes que aportaron un granito de arena para hacer de sus estudiantes excelentes profesionales.

Tabla de Contenido

Resumen.....	16
Abstract	17
Introducción	18
Capítulo 1: Problema de Investigación	19
1.1. Planteamiento del Problema.....	19
1.2. Justificación.....	20
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	21
Capítulo 2: Estado del Arte	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes Nacionales	23
2.1.3. Antecedentes Locales.....	23
2.2. Marco Conceptual o Teórico	23
2.3. Marco Legal	27
Capítulo 3: Metodología	29
3.1. Fase I. Caracterización de la cobertura vegetal y fauna actual en las áreas rurales en el municipio de Popayán	29
3.1.1. Actividad 1.1: Caracterización del componente físico	29
3.1.2. Actividad 1.2: Caracterización de la composición biótica.....	30
3.1.3. Actividad 1.3: Actividad socioeconómico	30
3.2. Fase 2: Identificación y selección de los nodos y corredores ecológicos.	30
3.2.1. Actividad 2.1: Definición de nodos (áreas) conectividad ecológica.....	30
3.2.2. Actividad 2.2: identificación y selección de corredores ecológicos para la conectividad	
33	
3.3. Fase 3: Diseñar modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán Cauca.....	33
3.3.1. Actividad 3.1: Diseñar modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán Cauca	34

Capítulo 4: Resultados y Discusión	35
4.1. Caracterización de la cobertura vegetal y fauna actual en las áreas rurales en el municipio de Popayán Aspectos Generales.....	35
4.1.1. Ubicación	35
4.1.2. División Político Administrativo Urbana.....	35
4.1.3. División Político Administrativo Rural.....	38
4.1.4. Subsistema Físico – Biótico	39
4.1.5. Geomorfología	41
4.1.6. Principales unidades del relieve	41
4.1.7. Marco geológico	42
4.1.8. Geomorfología urbana	42
4.1.9. Unidades geomorfológicas principales del área urbana.....	43
4.1.10. Cobertura vegetal y fauna asociada	43
4.1.11. Fauna.....	49
4.1.12. Subsistema Sociocultural y Económico.....	51
4.1.13. Identificación y selección los nodos y corredores ecológicos	53
4.1.14. Modelamiento de fragmento de bosque o nodos	57
4.1.15. Corredores rurales ideal	63
4.1.16. Corredores rurales existente.....	65
4.1.17. Corredores urbanos	68
4.2. Diseño de modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán.	71
4.2.1. Relación entre Nodos y Aves	72
4.2.2. Integración de los Resultados	73
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones	76
5.1. Conclusiones	76
5.2. Recomendaciones.....	77
Referencias Bibliográficas	78
Anexos	83
Anexo 1. Documento Excel cálculos matriz de fricción.....	83

Lista de Tablas

Tabla 1 Normatividad aplicada a la conectividad ecológica.....	27
Tabla 2 Criterios empleados para establecer la dificultad en el desplazamiento de especies para la obtención del mapa de fricción de la red de conectividad ecológica.....	32
Tabla 3 División político – administrativa	36
Tabla 4 Veredas del Municipio de Popayán	39
Tabla 5 Parámetros climáticos promedio de Popayán.....	40
Tabla 6 Lista de aves del sector urbano	50
Tabla 7 Identificación de nodos (áreas) de conectividad ecológica en el Municipio de Popayán	54
Tabla 8 Coberturas aplicadas para la selección de nodos.	55
Tabla 9 Distancia a vías.....	59
Tabla 10 Variable y su importancia ecológica.....	60
Tabla 11 Interpretación ecológica de los valores >1	61
Tabla 12 Nodos origen	62
Tabla 13 Nodos destino menor conectividad ecológica.....	63
Tabla 14 Corredores urbanos	68

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de Popayán Cauca	26
Figura 2 Mapa de comunas de Popayán Cauca	36
Figura 3 Mapa rural de Popayán Cauca.....	38
Figura 4 Visita de Campo Vda Quintana	52
Figura 5 Visita de campo Vda Poblazón.....	53
Figura 6 Visita de Campo Vda San Rafael	53
Figura 7 Nodos priorizados.....	58
Figura 8 Corredor existente	67
Figura 9 Corredor urbano	70
Figura 10 Corredor ideal.....	75

Resumen

La fragmentación de los bosques, junto con la posible disminución en la calidad de los hábitats, representa una causa primordial en la pérdida de diversidad biológica. Para contrarrestar esto a nivel del paisaje, una estrategia clave es la creación de corredores biológicos. Estos corredores buscan facilitar la conexión tanto estructural como funcional entre los componentes bióticos. No obstante, la efectividad de esta herramienta se ve restringida por la ausencia de una planificación minuciosa y rigurosa durante el diseño e implementación de corredores o redes de conectividad. La presente pasantía, titulada “Modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán, Cauca”, aborda esta problemática.

El presente estudio se desarrolló un modelo teórico para la conexión ecológica para el municipio de Popayán - Cauca, Colombia, a través de instrumentos de la ecología del paisaje. Inicialmente, se seleccionaron 34 fragmentos de bosque o nodos a conectar a partir de su tamaño mínimo (mayores a 5 ha). Posteriormente, mediante la creación de una matriz de fricción al desplazamiento, se trazó una red potencial para unir 3468,66 ha de nodos de bosques remanentes a través de 190 enlaces como corredores ecológicos de 100 m de ancho con una extensión total de 4742.15 ha.

Para concluir, se debatió sobre la necesidad de promover este tipo de instrumentos de planeación, fundamentados en la ecología del paisaje, que contribuyan a la conservación de los hábitats y a la conectividad a nivel de paisaje.

Palabras clave: Conectividad ecológica, corredores ecológicos, fragmentación del paisaje, biodiversidad.

Abstract

Forest fragmentation, along with the potential decline in habitat quality, represents a primary cause of biological diversity loss. To counteract this at the landscape level, a key strategy is the creation of biological corridors. These corridors seek to facilitate both structural and functional connections between biotic components. However, the effectiveness of this tool is limited by the lack of thorough and rigorous planning during the design and implementation of connectivity corridors or networks. This internship, entitled "Ecological Connectivity Model for the Protection and Preservation of Flora and Fauna in the Municipality of Popayán, Cauca," addresses this issue.

This study developed a theoretical model for ecological connectivity for the municipality of Popayán, Cauca, Colombia, using landscape ecology tools. Initially, 34 forest fragments or nodes were selected to be connected based on their minimum size (greater than 5 ha). Subsequently, by creating a displacement friction matrix, a potential network was drawn to connect 3,468.66 ha of remaining forest nodes through 190 links as 100-m-wide ecological corridors with a total area of 4,742.15 ha.

Finally, the need to promote these types of planning instruments, based on landscape ecology, that contribute to habitat conservation and connectivity at the landscape level was discussed.

Keywords: Ecological connectivity, ecological corridors, landscape fragmentation, biodiversidad.

Introducción

Como parte de una estrategia de fortalecimiento, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Popayán, junto con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, propuso consolidar la gestión ambiental municipal y mejorar la capacidad institucional de los administradores locales. Esta iniciativa reconoce el rol fundamental de los municipios como gestores del desarrollo y principales responsables de la gestión ambiental.

En este contexto, el POT se ha consolidado como un instrumento técnico de planeación que permite identificar y analizar el estado actual de las herramientas disponibles para ordenar el territorio. Su objetivo principal es integrar la planificación física, socioeconómica y ambiental mediante mecanismos efectivos de gestión y financiación.

La presente pasantía, titulada “Modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la biodiversidad florística y faunística del municipio de Popayán, Cauca”, aborda una problemática esencial: la fragmentación del hábitat forestal y la consecuente degradación de su calidad. Esta situación representa una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el municipio.

Ante este reto, el desarrollo de corredores biológicos se plantea como una estrategia clave para mantener la biodiversidad a nivel de paisaje. Dichos corredores mejoran la conectividad estructural y funcional entre los distintos componentes bióticos. Sin embargo, su efectividad suele verse limitada por la ausencia de una planificación metodológica detallada durante las etapas de diseño e implementación.

Por ello, es crucial fomentar el uso de herramientas de planificación territorial junto con enfoques propios de la ecología del paisaje. Ambas disciplinas aportan significativamente a la conservación de hábitats y a la conectividad ecológica. Comprender cómo se mueven las especies, cómo interactúan entre sí y con su entorno es esencial para proteger estos procesos ecológicos. En un contexto como el de Popayán, un modelo de conectividad ecológica permite salvaguardar ecosistemas estratégicos, conservar especies endémicas y promover el desarrollo sostenible.

Capítulo 1: Problema de Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

La flora y la fauna constituyen componentes esenciales para el equilibrio ecológico, desempeñando un papel determinante en la regulación de fuentes hídricas y en la estabilidad de los ecosistemas. No obstante, las actividades antrópicas han generado impactos negativos significativos sobre estos recursos, principalmente por la expansión urbana, la agricultura intensiva y la ganadería extensiva, dinámicas que han provocado procesos de degradación y fragmentación de los ecosistemas naturales.

El fortalecimiento de la conectividad ecológica representa una oportunidad para recuperar zonas de alto valor ambiental caracterizadas por su biodiversidad, capacidad de recarga hídrica, y función como corredores biológicos que facilitan el desplazamiento de especies. Sin embargo, la intervención humana continúa reduciendo la extensión y calidad de estos ecosistemas a escala local, regional y global, afectando los servicios ecosistémicos que la flora provee a la fauna y a la sociedad (García Quiroga y Abad Soria, 2014).

La biota, además de su valor ecológico, cumple funciones clave para sostenibilidad económica y ambiental de los territorios. Su conservación es esencial para mitigar las variaciones climáticas, la regulación de la temperatura y la estabilidad de los ecosistemas. En consecuencia, la protección de la flora y fauna resulta fundamental para garantizar la resiliencia ambiental y bienestar de las comunidades (Gallo Aponte, 2020).

En el municipio de Popayán, Cauca, diversos factores de presión comprometen los ecosistemas locales. Entre ellos se destacan la expansión urbana no planificada y el desarrollo de proyectos de infraestructura en zonas ambientalmente estratégicas. Un caso representativo es el crecimiento urbanístico en el sector “Ciudad Futuro” de la vereda Las Guacas, el cual ha generado la alteración del humedal Universidad del Cauca, ecosistema vital para la dinámica hídrica de la microcuenca del río Lame. Asimismo, prácticas como la tala de árboles, la ganadería extensiva, la minería y la contaminación hídrica contribuyen a la pérdida de conectividad funcional y disminución de la integridad ecológica del territorio.

Los elementos lineales del paisaje desempeñan un rol esencial en la conectividad, ya sea como corredores que facilitan el flujo biológico o como barreras que lo restringen. Sin embargo,

estos componentes no suelen considerarse en las escalas tradicionales de planificación territorial. Por ello, el presente trabajo propone el desarrollo de modelos de corredores ecológicos que permitan analizar el efecto de diferentes escenarios de desarrollo urbano sobre la conectividad ecológica y la conservación de la biodiversidad del municipio (CEPAL, s. f.).

Este modelo propuesto incorpora el análisis detallado de elementos lineales del paisaje, considerando tanto barreras (vías) como corredores (ríos, quebradas, lagos, humedales y bosques). Los resultados se materializan en mapas e indicadores de la permeabilidad del paisaje, los cuales aportan información clave para la toma de decisiones en materia de conservación y protección de la flora y fauna (Colorado Zuluaga et al., 2017).

En atención a los factores mencionados, se plantea la necesidad de incluir un modelo de conectividad ecológica dentro del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Popayán. Este instrumento busca promover a la recuperación de componentes físicos, biológicos y paisajísticos, alterados por el crecimiento urbano y la expansión de la infraestructura. La pérdida progresiva de biodiversidad, reflejada en la fragmentación de hábitats y la reducción de relictos de bosque, evidencia la urgencia de implementar estrategias integrales de conservación y restauración ambiental.

En este sentido, la formulación de un modelo de corredores ecológicos se constituye como una medida estratégica para mitigar los impactos ambientales negativos y fortalecer la estructura ecológica principal del territorio. La propuesta se enmarca en los lineamientos de la Resolución 196 del 1 de febrero de 2006, integrando criterios ecológicos en la planificación territorial, promoviendo un desarrollo urbano sostenible y respetuoso con la biodiversidad (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

1.2. Justificación

Los corredores ecológicos constituyen un herramienta que frecuentemente se aplica en los planes de conservación y preservación de especies de flora y fauna como una herramienta que ayuda a conectar regiones del territorio con el objetivo de conectar áreas protegidas o relictos de bosque, es decir se basa en mantener la continuidad de los procesos biológicos, a través de los corredores, se busca establecer rutas seguras para la migración y dispersión de la biodiversidad, al

tiempo que se mitigan los efectos de fragmentación de los ecosistemas y se promueve la interrelación entre población de distintas especies (Bordino, 2022).

La importancia de los corredores ecológicos radica en que permiten que las especies se muevan libremente entre diferentes hábitats, lo que les da acceso a nuevos recursos, les permite reproducirse y evolucionar. Además, pueden ayudar a mitigar los efectos negativos del cambio climático, ya que permiten que las especies migren a medida que las condiciones climáticas cambian.

Sin embargo, la creación de estos puede ser un desafío, ya que a menudo requiere la cooperación de diferentes partes interesadas y la inversión de recursos significativos. Además, la implementación de los corredores puede ser interrumpidos por actividades humanas como la urbanización, la agricultura intensiva y la construcción de carreteras.

La implementación en el municipio de Popayán de este tipo de proyectos desde una perspectiva de planificación espacial y gestión ambiental es estratégica. Al asegurar la conectividad funcional de los ecosistemas, se contribuyen a la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad de vida de la población, los resultados de esta investigación proporcionan una herramienta que servirá como base para la elaboración de estrategias de conservación a largo plazo que promueva la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades locales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Formular un modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán cauca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la cobertura vegetal y fauna de las áreas rurales del municipio de Popayán.
- Identificar los nodos y corredores ecológicos para la conectividad.

- Diseñar un modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán cauca.

Capítulo 2: Estado del Arte

Para dar cumplimiento al propósito de la propuesta, en el siguiente capítulo se ha elaborado un estado del arte donde se evidencian antecedentes y bases teóricas; se describen los aspectos generales del municipio de Popayán; y se presenta un marco normativo que permite orientar y entender las disposiciones relacionadas a los Planes de Gestión Ambiental a nivel nacional.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel mundial, diversas naciones han adoptado la creación de corredores ecológicos como una táctica clave para la protección de la naturaleza y una acción concreta para frenar la disminución de la vida silvestre. Estos países han reconocido el valor de conectar diferentes áreas naturales para asegurar la supervivencia de las especies ejemplo de estos son:

En el año 1990 en costa rica se implementó los corredores biológicos o “ecológicos” como espacio de conectividad de las áreas protegidas que funcionan como paso entre áreas núcleo. Costa Rica ha implementado una red de 40 corredores biológicos que abarcan una porción significativa del país, específicamente el 38% de su territorio. Estos corredores son muy variados en cuanto a su tamaño, forma y cómo funcionan ecológicamente. También presentan diferentes grados de conexión entre sí y de fragmentación. Gracias a estos corredores ecológicos, se ha logrado restaurar una parte importante de la vegetación natural del país (Morera-Beita et al., 2021).

En el año 2013 se dio en Ecuador la iniciativa de crear nuevas áreas que conservaran remanentes de bosque y otros hábitats, el ministerio de ambiente, Agua y transición ecológica (MAE), a través del acuerdo ministerial 135, abrió las puertas para sumar a la lista de espacios protegidos a los corredores ecológico, el cual fue realizado por el ministerio del medio ambiente (Sorgato, 2018)

Se lograron identificar doce importantes rutas naturales que los animales pueden utilizar para desplazarse a lo largo de la península ibérica. El objetivo principal de estas rutas ecológicas es unir las áreas naturales protegidas que existen, facilitando así la supNaturaleza (de especies en

peligro de extinción como el lince ibérico y el oso pardo, donde 17 zonas son críticas que se encuentran dentro de los doce corredores donde ya han sido restauradas por la secretaria general de Fondo Mundial para la Naturaleza(WWF), donde han indicado que es de vital importancia trabajar en conectar la naturaleza para permitir el intercambio genético entre poblaciones de fauna y flora, con el fin de promover la conservación de las especies amenazadas, que subsisten en poblaciones aisladas debido a factores como el desarrollo descontrolado de infraestructura (Europa Press, 2018).

2.1.2. *Antecedentes Nacionales*

A nivel nacional fue empleado los corredores ecológicos con el propósito de salvar especies en vía de extinción. Ubicado en el departamento Vichada (Colombia), a orillas del rio Bitá, con más de 228.000 hectáreas destinadas a la preservación de 34 especies de mamíferos medianos y grandes, entre ellos se encuentran especies de danta, jaguares y pumas y también una gran riqueza en biodiversidad de la zona, fue establecido por los estudiantes Tamayo Gámez, John Jairo de biología de la Universidad Pedagógica Nacional (Tamayo Gámez, 2014).

2.1.3. *Antecedentes Locales*

A nivel local se empleó la estrategia de conservar y restauración ecológica con la finalidad de fortalecer la conectividad entre los diversos hábitats y contribuir con la regulación de los caudales hídricos y mejoramiento de la calidad del agua. Esto se llevó a cabo en las reservas municipales: San Pedro, La Cabaña, Aguas Claras, El motilonal y El Caimo, se realizó un diseño de muestreo 9 parcelas al azar de 50 x 2 m, esto se llevó a cabo para identificar la taxonomía de las especies, se realizó una estructura para identificar los bosques y que cobertura se tenía en el área seleccionada, para así poder llevar a cabo el diseño del corredor biológico para la protección y preservación de la flora y fauna en las localidades establecidas (Delgado Pérez y Pacheco Ortega, 2011).

2.2. Marco Conceptual o Teórico

En Un corredor ecológico es un concepto utilizado en la conservación de la biodiversidad y la planificación del paisaje para mantener y restaurar la conectividad entre hábitats naturales fragmentados. Estos corredores son áreas lineales o de forma alargada que conectan diferentes

ecosistemas y permiten el movimiento de especies, la dispersión de semillas y el flujo de genes entre poblaciones, están basados en los siguientes elementos:

1. Hábitats naturales: Los corredores ecológicos están compuestos por hábitats naturales, como bosques, humedales, ríos, montañas o praderas. Estos hábitats proporcionan refugio, alimento y lugares de reproducción para una amplia variedad de especies (INECOL, 2020).

2. Conectividad: El principal objetivo de los corredores ecológicos es mantener o restaurar la conectividad entre los hábitats naturales. Esto implica crear o mantener una red de áreas naturales interconectadas que permitan que las especies se desplacen entre ellas sin obstáculos significativos (ESRI, 2020).

3. Fragmentación del paisaje: La fragmentación del paisaje es el resultado de la actividad humana, como la urbanización, la agricultura intensiva o la construcción de infraestructuras. Estas actividades pueden dividir los hábitats naturales en fragmentos más pequeños, lo que dificulta el movimiento de las especies y reduce su capacidad para sobrevivir y reproducirse (Morera-Beita et al., 2021).

4. Funcionalidad ecológica: Los corredores ecológicos no solo deben proporcionar una conexión física entre los hábitats, sino que también deben ser funcionales desde el punto de vista ambiental. Esto significa que deben mantener las interacciones naturales entre las especies y los procesos ecológicos, como la dispersión de semillas, la polinización y la migración, para así poder mantener una biodiversidad estable (ESRI, 2020).

5. Planificación del paisaje: La planificación del paisaje es una herramienta clave en el diseño e implementación de corredores ecológicos. Implica identificar áreas prioritarias para la conservación, establecer zonas de amortiguamiento alrededor de los corredores y evitar o mitigar actividades humanas que puedan afectar negativamente la conectividad (Morera-Beita et al., 2021).

6. El programa ARCGIS brinda herramientas para la cartografía y el razonamiento espacial. Este sistema integral permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

En resumen, los corredores ecológicos se centran en mantener y restaurar la conectividad entre hábitats naturales fragmentados, con el objetivo de conservar la biodiversidad, ya que es de vital importancia para el medio ambiente mantener la diversidad biológica, disminuir la

fragmentación de los hábitats y mejorar la conectividad entre paisajes y ecosistemas (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

Aspectos Generales Del Municipio de Popayán Cauca

En esta sección se presenta la información general del municipio, en la cual se describen aspectos como: localización, límites y división política administrativo.

Localización

Popayán es la capital del departamento del Cauca, ubicada en el suroccidente de Colombia, específicamente en el Valle de Pubenza, entre las cordilleras Occidental y Central. Con una extensión de 512 km², se encuentra a una altura promedio de 1760 metros sobre el nivel del mar, recibe una lluvia anual de 1941 mm y tiene una temperatura media que oscila entre 14 y 19 °C. Está aproximadamente a 600 km de Bogotá, la capital del país.

Límites

Popayán colinda al oriente con los municipios de Totoró, Puracé y el Departamento del Huila; al occidente El Tambo y Timbío; al norte con Cajibío y Totoró y al sur con el Municipio Sotaró y Puracé. Su mayor extensión territorial corresponde a los pisos térmicos templado y frío. (Organización de los Estados Americanos [OEA], 1994).

2.3. Marco Legal

A continuación, en la tabla Numero 2, se encuentran especificadas algunas leyes y decretos promulgados para proteger y conservar el medio ambiente de la nación; además, resalta “como el primer hito del desarrollo normativo colombiano en materia de GAM, al Decreto 2811 de 1974, que es el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medioambiente, que ubicó a Colombia en la vanguardia de la protección ambiental en el contexto latinoamericano”.

Tabla 1

Normatividad aplicada a la conectividad ecológica

MARCO LEGAL	DESCRIPCIÓN
La Cumbre de las Américas, Miami 1994.	Declaración de Principios donde se insta a la OEA a brindar asistencia a los países en el cumplimiento de los compromisos asumidos (Organización de los Estados Americanos (OEA),1994)
La Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible, 1994	Compromisos en Materia de Medio Ambiente y Recursos Naturales donde prioriza. La creación del Corredor Biológico Centroamericano, que potenciará el sistema nacional de áreas protegidas; El establecimiento de centros de investigación y conservación de la biodiversidad; La elaboración de los inventarios de flora y fauna en peligro de extinción, El desarrollo sostenible de zonas fronterizas (La alianza centroamericana para el desarrollo sostenible, 1994).
El Convenio Regional para el Manejo y Conservación de los Ecosistemas Naturales Forestales	Persigue la protección de bosques existentes localizados en tierras con vocación o aptitud forestal, así como la restauración de aquellas tierras que han perdido su cobertura vegetal natural (Sistema De La Integración Centroamericana,1993)

y el Desarrollo de Plantaciones Forestales, 1993	
Ley 2 de 1959	De reservas forestales sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables (Congreso de Colombia, 1959).
Ley 388 de 1997	Ordenamiento Territorial Municipal y Distrital y Planes de Ordenamiento Territorial (Congreso de Colombia, 1997).
Ley 165 de 1994	Las Partes Contratantes fomentarán la cooperación científica y técnica internacional en la esfera de la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica (Congreso de Colombia, 1994)
Decreto Ley 2811 de 1974	Congreso de Colombia. Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente (Presidencia de la República, 1974)
Decreto 3572 de 2011	Por el cual se crea la Unidad Administrativa Especial Parques Nacionales Naturales de Colombia (Presidencia de la República de Colombia, 2011).
Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del agua y residuos líquidos (Presidencia de la república de Colombia, 2010b)
Decreto 2372 de 2010	Reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Presidencia de la República de Colombia, 2010a)
Acuerdo 06 de 2002	Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán, Cauca (Concejo Municipal de Popayán, 2002)

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas

Capítulo 3: Metodología

Para la estructuración del proyecto, se consideraron tres fases principales que dan respuesta a los objetivos específicos planteados en el capítulo I. La primera fase, caracterización de la cobertura vegetal y fauna actual en las áreas rurales en el municipio de Popayán; la segunda fase, identificar y selección los nodos y corredores ecológicos; la tercera fase, diseñar modelo conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán cauca.

3.1. Fase I. Caracterización de la cobertura vegetal y fauna actual en las áreas rurales en el municipio de Popayán

Se realizó una caracterización del área de estudio, teniendo en cuenta los componentes biológicos y socioeconómicos, aprovechando referencias bibliográficas, y mediante la herramienta de ArcGIS se establecieron zonas seguras para la fauna y la protección de la flora y mitigar la fragmentación de bosques y pérdida de la biodiversidad. Las zonas establecidas en este proyecto se visitaron para establecer la cobertura vegetal y los relictos de bosque que se presentaron en las zonas establecida.

3.1.1. Actividad 1.1: Caracterización del componente físico

Este componente se realizó mediante el análisis de la información geomorfológica, geológica y uso del suelo. Esta información fue suministrada por la secretaria de planeación municipal de Popayán.

Se llevó a cabo mediante la metodología Corine Land Cover, una metodología francesa adaptada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para Colombia y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat (Suárez-Parra et al., 2016). Con esta metodología se procesó la información e interpretó la cobertura, utilizando el programa ARCGIS, el cual proporcionó las herramientas para el mapeo y el razonamiento espacial. La herramienta facilitó la recopilación, organización, gestión, análisis, el intercambio y la distribución de información espacial (Cebrián-de-la-Serna y Noguera-Valdemar 2010).

Esta información sirvió como base para el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán, ya que ayudó a identificar los nodos para la protección de las coberturas vegetales.

3.1.2. *Actividad 1.2: Caracterización de la composición biótica*

Para la metodología de la clasificación, se empleó un enfoque mixto que integró la herramienta de ArcGIS y la capa de cobertura vegetal de sistema de información geográfica “SIG” municipal, establecida por la leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) y revisión bibliográfica.

3.1.3. *Actividad 1.3: Actividad socioeconómico*

Esta actividad se realizó a través de revisión de información bibliográfica y visitas de campo en las que se identificaron los asentamientos humanos rurales, con ítems relacionados con la actividad económica de estos asentamientos, como las actividades agropecuarias, ganaderas, extracción de minerales, entre otras.

3.2. Fase 2: Identificación y selección de los nodos y corredores ecológicos.

3.2.1. *Actividad 2.1: Definición de nodos (áreas) conectividad ecológica*

Para seleccionar los nodos (áreas) de conectividad se utilizó el mapa de cobertura del suelo el cual fue desarrollado con la metodología “Corine Land Cover”. Se empleó ArcGIS 10.8 y todas sus herramientas, para seleccionar los nodos de conectividad ecológica, utilizando los siguientes insumos que se solicitaron a la secretaria de planeación municipal:

- Capa de cobertura 2021
- Capa de drenaje doble
- Capa de Construcciones
- Capa de centros poblados:
- Capa de vías primarias, secundarias y terciarias
- Capas de rondas hídricas

Para seleccionar los nodos de conectividad ecológica se emplearon las coberturas vegetales donde se presentaron la mayoría de los recursos de interés para la conservación de la flora y fauna (Colorado Zuluaga et al., 2017), algunos de ellos son:

- Pastos limpios
- Pastos enmalezados
- Bosque densos
- Bosque abierto
- Bosque fragmentado
- Vegetación secundaria o en transición

Posteriormente se aplicaron los siguientes criterios para la selección de nodos (áreas) ecológicos:

1. Seleccionando fragmentos < 5 ha y formas redondeadas o casi redondeadas, ya que formas menos redondeadas e irregulares en fragmentos implican una mayor longitud y área de borde, cambios en las condiciones bióticas y abióticas que tienen efectos sobre la riqueza y composición de especies (Colorado Zuluaga et al., 2017).

2. Se tuvo en cuenta la distancia a vías, debido a que un mayor distanciamiento entre vías y nodos permitió un mejor desplazamiento de las especies. Se realizó un buffer para que en la capa de vías se tuviera una distancia 110 m.

3. Se tendrá en cuenta la distancia a áreas pobladas de desarrollo, la cual debió ser mayor a 100 m, dado a esto se debe realizar un buffer para que en la capa de centros poblados tenga una distancia 100 m.

4. Los distanciamientos a rondas hídricas son positivos para la movilidad de las especies, entre menor distancia a una ronda, menor fricción.

Con base en los criterios anteriores, se construyó una matriz de fricción que representa el grado de resistencia o dificultad que presentan las distintas coberturas del suelo y variables ambientales al desplazamiento de las especies.

Esta matriz, se elaboró a partir la valoración numérica de resistencia asignada a cada variable siguiendo tres niveles de fricción: nula o baja (valoración de 1), intermedia (valoración de 2) y alta (valoración de 3).

Tabla 2

Criterios empleados para establecer la dificultad en el desplazamiento de especies para la obtención del mapa de fricción de la red de conectividad ecológica.

Variable	Rangos de variables	Valoración
Cobertura	Pastos arbolados, bosque denso, bosque abierto, bosque fragmentado, herbazal, arbustal	1
	Pastos limpios, Vegetación secundaria o en transición	2
	Pastos enmalezados	3
Distancia a vías	Distancia a vías entre 0 y 110 m	3
	Distancia a vías entre 110 y 300 m	2
	Distancia a vías mayor 300 m	1
Tamaño de lotes	Lotes de 5 ha 16	3
	Lotes de 16 a 50 ha	2
	Lotes mayores a 50 ha	1
Distancia a Centros poblados	Distancia a centros poblados 0 y 100 m	3
	Distancia a centros poblados 100 y 300 m	2
	Distancia a centros poblados mayor de 300m	1
Distancia a ronda hídricas	Distancia a rondas entre 0 y 100m	1
	Distancia a rondas entre 100 y 300m	2
	Distancia a rondas mayor a 300m	3

Ecuación para valor normalizado:

$$Valor\ normalizado = \left(\frac{Valor\ real - valor\ mínimo}{valor\ máximo - valor\ mínimo} \right)$$

Ecuación variable de beneficio máximo es mejor

$$Valor\ normalizado = 1 - \left(\frac{Valor\ real - valor\ mínimo}{Valor\ máximo - Valor\ mínimo} \right)$$

Ecuación suma ponderada

$$F = (W1 * X1) + (W2 * X2) + (W3 * X3) + \dots + (Wn * Xn)$$

Donde:

F = valor total de fricción

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ = valores normalizados (entre 0 y 1 o entre 0 y 100) de cada variable o criterio (ej. cobertura, distancia a vías, pendiente, etc.).

$W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ = pesos asignados a cada criterio (suman 1 o 100 %).

3.2.2. Actividad 2.2: identificación y selección de corredores ecológicos para la conectividad

A partir de los nodos seleccionados en la actividad 1 de la fase 2, se consideraron únicamente aquellos que no habían sido priorizados para posibles conexiones entre corredores y/o que hagan parte de la ruta de corredores ecológicos. Se priorizó la capa de drenajes y la cobertura de bosque de galería y ripario.

Finalmente, se trazaron corredores o conexiones de 100m de amplitud entre las figuras mencionadas, con el objetivo de conectar los nodos priorizados. Se pretendió que a través de estos tres parámetros mencionados (nodos no priorizados, capa de drenaje sencillos y dobles y cobertura de bosque de galería y ripario) se establezca la ruta con menor dificultad de desplazamiento para las especies entre los nodos priorizados, se realizaron corredores urbanos y rurales para tener una conectividad total en el municipio basados en la metodología de Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia) (Colorado Zuluaga et al., 2017), adaptada para el municipio de Popayán, los resultados obtenidos permitieron identificar zonas seguras para la biodiversidad.

3.3. Fase 3: Diseñar modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán Cauca.

En esta fase, se desarrollaron diversas estrategias para la elaboración de mapas geográficos que permitieran evaluar la conectividad ecológica del municipio de Popayán, con el fin de asegurar que las propuestas de desarrollo sean ambientalmente adecuadas y sostenibles en la región.

3.3.1. Actividad 3.1: Diseñar modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán Cauca

Se articuló la información recolectada en las visitas de campo y la obtenida de la base de datos elaborada en anteriores actividades, para diseñar la conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna en el municipio de Popayán.

Con la información de campo generada a través de las visitas, se creó una base de datos en una tabla de Microsoft Excel. Esta base de datos sirvió para realizar los cálculos necesarios y clasificar los nodos y corredores, que se establecerán, teniendo como base la información obtenida en las fases anteriores (Caracterización de la cobertura vegetal actual de Popayán y la selección de nodos y corredores ecológicos del municipio) utilizando la herramienta ArcGIS se realizó una clasificación sistemática mediante los parámetros utilizados para clasificar de manera adecuada los corredores y nodos ecológicos, asignándoles una calificación para poder establecer un mapa de calor, se siguió la metodología aplicada en el proyecto de Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosques andino en Santa Elena (Medellín, Colombia) (Colorado Zuluaga et al., 2017), donde se observa el modelo de conectividad ecológica teniendo esta información, se articuló con la oficina de SIG “Sistema de información geográfica” del municipio donde se realizó la socialización del modelo para su inclusión en el POT “Plan de ordenamiento Territorial” del municipio de Popayán.

Capítulo 4: Resultados y Discusión

4.1. Caracterización de la cobertura vegetal y fauna actual en las áreas rurales en el municipio de Popayán Aspectos Generales

A continuación, como punto de partida se realiza la descripción del área de estudio, resaltando sus componentes y características principales.

4.1.1. Ubicación

Popayán, la ciudad principal del departamento del Cauca en Colombia, se sitúa en el Valle de Pubenza, entre las montañas Occidental y Central, al suroeste del país. Abarca un área de 512 kilómetros cuadrados y se eleva a una altitud promedio de 1760 metros sobre el nivel del mar. Experimenta una precipitación anual de 1941 milímetros y su temperatura media varía entre 14 y 19 grados Celsius.

Los límites de Popayán son: al este, Totoró, Puracé y el departamento del Huila; al oeste, El Tambo y Timbío; al norte, Cajibío y Totoró; y al sur, Sotará y Puracé. La mayor parte de su territorio se caracteriza por climas templado y frío.

4.1.2. División Político Administrativo Urbana

El municipio de Popayán, además de su cabecera municipal se encuentra dividida en 9 comunas como se evidencia en la ilustración 2, conformado por dos corregimientos cuyas cabeceras son El Rosario y Marsella.

Figura 2*Mapa de comunas de Popayán Cauca*

Nota: [15]

Tabla 3*División político – administrativa*

Comunas	Barrios
Comuna 1 27 Barrios	Catay, Belalcázar, Maria Alejandra, Navarra, Modelo, Campamento, Nariño, Campobello, El Recuerdo, La Villa, Los Laureles, Los Rosales, Alcalá, Casas Fiscales, Bloques de Pubenza, Villa Paola.
Comuna 2 59 Barrios	Los Cámbulos, Luna Blanca, Rinconcito Primavera II, Galilea, Atardeceres de la Pradera, Pinos Llano, Nuevo Tequendama, Rincón de la Aldea, Trece de Octubre, Bosques del Pinar, Quintas de José Miguel, Minuto de Dios, Álamos del Norte, Villa Diana, Renacer, San Fernando, Gran Bretaña, Villa Melisa, Esperanza, Canterbury, La Arboleda, El Uvo, Cruz Roja, Río Vista, Bello Horizonte, El Placer, Villa del Norte, La Primavera, Rinconcito Primavera, La

	Florida, Barrio González, El Tablazo, Zuldemaida, María Paz, Balcón Norte, Pino Pardo, Matamoros, Chamizal, Tóez,
Comuna 3 47 Barrios	La Floresta, Aida Lucía, Alicante, Acacias, Rincón del Río, Chicalá, La Estancia, Rincón de Yambitará, Arcos de Yanaconas, Portón de Palacé, Molinos de la Estancia, Villa Alicia, Portón de la Hacienda, El Recuerdo I, Villa del Prado, Bolívar, Ciudad Jardín, Sotará, Deportistas, Los Hoyos, Yambitará, Yanaconas, La Ximena, Palacé, Pueblillo, Tres Margaritas, Galicia, Nuevo Yambitará, La Virginia, Rincón de la Estancia, Moravia.
Comuna 4 33 Barrios	Cadillal, Valencia, Las Américas, Colombia I Etapa, Argentina, San Camilo, El Empedrado, Hernando Lora, El Prado, Vásquez Cobo, Pomona, Bosques de Pomona, Santa Catalina, Belén, Provitec II Etapa, Moscopán, Obrero, Santa Inés, Fucha, Loma de Cartagena, La Pamba, El Liceo, Caldas, El Refugio, Centro, Siglo XX.
Comuna 5 18 Barrios	Avelino Ull, El Lago, Berlín, Suizo, Las Ferias, La Campiña, María Oriente, Los Sauces, La Floresta, Colgate Palmolive, Alameda, Plateado, Alto de Pubenza, Villa Oriente.
Comuna 6 40 Barrios	La Ladera, Colina, Nuevo Japón, Nuevo País, Tejares de Otón, Veraneras, Villareal, Palermo, Villa Hermosa, El Recuerdo Loma de la Virgen, Alfonso López, Calicanto, Colinas de Calicanto, Nueva Granada, San Rafael, Camino Real, Nuevo Deán, El Salvador, San José de los Tejares, Pajonal, Santa Fe, La Ladera, El Boquerón, El Limonar, La Paz Sur, La Gran Victoria, Versalles II.
Comuna 7 34 Barrios	Las Palmas I y II, Campos, Treinta y Uno de Marzo, El Mirador, Tomas Cipriano de Mosquera, Las Vegas, Chapinero, Villa Occidente, Santo Domingo Sabio II, Villa España, San Fernando, Panamericano, Nuevo Milenio, Independencia, Santa Librada, Villa del Carmen, Corsocial, La Heroica, Nuevo Hogar, Villas del Palmar, Colombia II Etapa, Los Álamos de Occidente, Múnich.
Comuna 8 18 Barrios	Camilo Torres, Junín, Canadá, Llano Largo, José María Obando, La Isla, El Triunfo, Perpetuo Socorro, Junín II Etapa, Guayabal, Esmeralda, Libertador, Pandiguando, Santa Elena, Popular.
Comuna 9 14 Barrios	Los Naranjos, María Occidente, Cinco de Abril, La Sombrilla, San José, Kennedy, Nuevo Hogar, Lomas de Granada, Nuevo San José, El Edén, Carlos Primero, San Antonio de Padua, Capitana, Mis Ranchitos.

Tabla 4*Veredas del Municipio de Popayán*

Centros poblados	Veredas
San Rafael	San Rafael
La Mercedes	Las Mercedes y La Calera
La Rejoya	La Rejoya y Villanueva
La Meseta	La Meseta y El Bajo Gualimbio
Calibio	Sabana, La Cabuyera, Real Palacé y Río Blanco
Los Cerillos	Los Cerillos y La Yunga
Santa Rosa	Santa Rosa, Morinda, San Antonio, La Tetilla, La Laja y La Mota
Julumito	Julumito, Julumito Alto y Los Tendidos
El Charco	El Charco, La Mulata, La Colina, Santa Rosa, Cajamarca, y La Mota
San Bernardino	San Bernardino
San Juan de Puelenje	Puelenje (Bajo Puelenje, Alto Puelenje, Centro de Puelenje y Crucero de Puelenje), Samuel Silverio Buitrago y El Tunel.
La Yunga	Río Hondo y La Yunga
El Tablón	El Tablón
Cajete	Cajete, Santa Ana y Las Chozas
Figueroa	Figueroa
Santa Bárbara	Santa Bárbara, El Paraíso, Pisoje Alto, La Unión, Santa Helena, Pisoje Bajo, Altos Pesares, El Hogar, La Claridad, y San Alfonso
Vereda de Torres	Vereda de Torres y La Playa
El Sendero	El Sendero, Pueblillo Alto, Las Tres Cruces y El Arenal
Quintana	Quintana, Parcelación San Ignacio, Parcelación El Canelo, San Juan y San Ignacio.
El Canelo	El Canelo
Samanga	Samanga, El Salvador, Los Dos Brazos, Montebello, La Paila, Samanga Bajo, Barro Plateado y Siloé
Poblazón	Poblazón
Las Piedras	Lame, El Cabuyo, Clarete, Los Llanos, Las Guacas y San Isidro

4.1.4. Subsistema Físico – Biótico

 **Relieve:** En el municipio se evidencia diferentes pisos térmicos que van desde zonas frías a zonas más cálidas, gracias a que está ubicado en el oeste de la cordillera occidental y

cuenta con alturas de 1400 msnm (La Esperanza) hasta 2000 msnm (La Amatista) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

 **Hidrografía:** El río Cauca cruza la ciudad de Popayán a lo largo de más de 10 kilómetros de zona urbana, alcanzando un ancho promedio de 40 metros. El río sale de Popayán entre las colinas de San Rafael y Loma Larga, y aguas abajo, cerca de Río Hondo, recibe por su margen izquierda al río del mismo nombre, poco antes de la confluencia con los ríos Palacé y Sucio.

Además del Cauca, varios ríos más pequeños fluyen hacia Popayán, como el Molino, Piedras, Vinagre, Negro, Ejido, Blanco, Hondo, Saté, Palacé Clarete y Pisoje. La ciudad también cuenta con alrededor de 50 quebradas o pequeños arroyos que la atraviesan.

 **Climatología:** De acuerdo con la clasificación de zonas de vida Holdridge y la ubicación geográfica de la ciudad, su clima se caracteriza principalmente por ser templado, influenciado por la presencia de diversos pisos térmicos.; con precipitaciones anuales entre 4000 a 4.500 mm/año; temperaturas que oscilan entre los 16°C a 25.3°C y con una humedad relativa aproximada del 80% (Bordino, 2022).

Tabla 5

Parámetros climáticos promedio de Popayán

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Horas de sol	157.7	125.3	125.0	105.7	111.4	146.8	172.7	166.6	126.6	114.0	119.0	140.9	1611.7
Humedad relativa (%)	80.00	80.37	79.73	81.12	80.80	77.45	71.00	70.21	75.36	79.87	83.00	82.57	78.00
Días de precipitaciones (≥)	17.00	16.33	18.89	20.40	20.90	14.34	9.43	10.23	15.53	22.96	23.86	21.13	211
Precipitación total (mm)	201.5	181.3	220.6	202.7	166.2	81.8	52.4	61.9	124.7	247.6	329.9	250.9	2121.5
Temp. abs. (°C)	30.0	32.0	33.0	30.0	32.0	29.2	31.0	31.0	32.0	30.0	29.3	30.0	33.0
Temp. máx. media (°C)	24.2	24.4	24.6	24.4	24.4	24.6	25.0	25.2	24.9	24.1	23.8	23.9	24.5
Temp. media (°C)	18.9	19.0	19.0	19.1	19.0	19.1	19.2	19.3	18.9	18.7	18.5	18.7	19.7
Temp. mín. media (°C)	13.2	13.3	13.6	13.8	13.8	12.8	12.0	12.0	12.4	13.4	13.8	13.7	12
Temp. abs. (°C)	7.0	6.0	6.4	7.9	7.0	6.8	6.5	6.1	6.1	6.0	7.0	6.3	6

Nota. Elaboración propia a partir de (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

Analizando los datos de las estaciones meteorológicas de la zona (Tabla 5), los ingenieros del Consorcio Consultores Ambientales y de Saneamiento del Cauca determinaron que las lluvias en Popayán cambian según el trimestre del año. La temporada más lluviosa ocurre de octubre a diciembre, seguida por un segundo período de lluvias importantes entre marzo y mayo. Los meses con menos lluvia son junio, julio y agosto. Históricamente, la precipitación anual promedio es de 379.8 mm, y la temperatura varía entre 18.2 °C y 19.3 °C. Los vientos que más soplan en la región provienen del valle del Patía y la costa pacífica, siendo agosto el mes con los vientos más fuertes.

4.1.5. Geomorfología

Popayán se localiza en el Valle Interandino del Alto Cauca, entre las cordilleras Central y Occidental, donde la combinación de procesos internos (tectónica, vulcanismo) y externos (clima, erosión, intemperismo) ha originado una gran variedad de geoformas. Este relieve influye directamente en la formación de suelos, la cobertura vegetal, los riesgos naturales y la localización de asentamientos humanos.

4.1.6. Principales unidades del relieve

1. Laderas de montaña

Pendientes fuertes (30–80%), formas escarpadas y quebradas.

Presentes en flancos de la cordillera Central y zonas de páramo, clima frío y medio húmedo.

2. Colinas

En clima frío y medio húmedo, con pendientes entre 7–75%.

Relieve ondulado a quebrado, con cimas redondeadas o agudas.

3. Superficies aluviales

Terrazas planas o suavemente inclinadas; valles aluviales y coluvio-aluviales.

Pendientes bajas y poca disección.

4. Meseta o altiplanicie de Popayán

Relieve fuertemente disectado por erosión hídrica, con montículos y pequeños canales de drenaje.

En algunos sectores aparecen arcillas, arenas y conglomerados expuestos.

4.1.7. Marco geológico

La geología está dominada por dos grandes unidades:

1. Complejo Arquía (Paleozoico)

Aflora al oriente de la ciudad.

Incluye esquistos verdes, metapelitas y cuarcitas.

2. Formación Popayán (Terciario–Cuaternario)

Compuesta por depósitos volcánicos y volcanosedimentarios, divididos en:

- **Conjunto Basal (Plioceno):**
 Tpe: flujos piroclásticos y lahares.
 Tph: ignimbritas del río Hondo.
- **Conjunto Medio (Pleistoceno):**
 Qps: flujos piroclásticos y lodos del río Saté.
 Qpp: cenizas, epiclastitas y lahares de la quebrada Pisojé.
- **Conjunto Superior (Holoceno):**
 Qpm: aluviones y flujos de lodo del río Molino.

4.1.8. Geomorfología urbana

Se identifican siete unidades, entre ellas:

- **Metamorfitas (Pz?ca):** pendientes 6–35°, buenos suelos.
- **Flujos del río Ejido (Tpe):** colinas alargadas, buenas características geotécnicas.
- **Ignimbritas (Tph):** geoformas redondeadas, suelos profundos.
- **Qps, Qpp:** suelos blandos y de mala calidad geotécnica.
- **Qpm:** terrazas aluviales y flujos de lodo, en general de mala calidad para construcción.

4.1.9. Unidades geomorfológicas principales del área urbana

1. **Colinas orientales** – Estructuradas por Complejo Arquía y unidades basales de la Formación Popayán.
2. **Colinas sur-occidentales** – Dominadas por Tph y Qpp.
3. **Cono antiguo del río Cauca** – Relieve suave tipo meseta.
4. **Subcuenca de Popayán** – Zona plana y baja, conformada por Tph y Qpm. Escuela Superior de Administración Pública – ESAP, CDIM. (s.f.).

4.1.10. Cobertura vegetal y fauna asociada

El análisis espacial de la cobertura vegetal usando la herramienta ArcGIS y lo hallado en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán, indica que el Servicio Geológico Colombiano SGC (2015), aplicando la metodología Corine Land Cover y trabajo de campo obtuvo el mapa de cobertura de la tierra del municipio de Popayán, identificando varios tipos de coberturas a nivel VI, como se muestra a continuación:

a) Cultivos transitorios: Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, donde después de la cosecha es necesario volver a sembrar para seguir produciendo (IDEAM, 2010). Se encuentran distribuidos en la mayoría del área de estudio, algunas parcelas pequeñas de cultivos transitorios fueron asociadas a otras coberturas formando mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. La especie con mayor presencia es la yuca (*manihot esculenta*), sistemas productivos de maíz (*Zea mays*), mora (*Rubus glaucus*), lulo (*Solanum quitoense*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y algunas hortalizas.

b) Cultivos permanentes: Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volver a plantar. (IDEAM, 2010). Algunas parcelas pequeñas de cultivos transitorios fueron asociadas a otras coberturas como a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Las unidades encontradas se agrupan en las siguientes categorías:

c) Cultivo permanente arbustivo: Está representado por café (*Coffea* sp), cuyas variedades utilizadas son la caturra, castilla y el arábigo, en cuanto a la tecnología utilizada en este sistema varía desde cultivos tradicionales hasta tecnificados, siembra que se realiza en su mayoría

en zonas de laderas. Esta actividad agrícola predomina en los corregimientos de: Los Cerrillos, San Rafael, las Mercedes, la Meseta, La Calera, Figueroa, Julumito, vereda de Torres y Las Guacas

d) Cultivos permanentes herbáceo: Esta categoría se subdivide en *Cultivo de fique (*Furcraea bedinghausii*) que se encuentra en pequeñas áreas, algunos asociados a pastos y espacios naturales, localizados al nororiente del municipio, en los corregimientos de Piedras y Quintana, en las veredas San Juan, la Laguna y el Cabuyo. Su uso es industrial, para sacar la cabuya. Cultivo de caña panelera (*Saccharum officinarum*) Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de caña panelera, se cultiva en el municipio generalmente en terrenos de ladera y su zona de producción óptima se ubica entre los 1.200 msnm y los 1.800 msnm, localizados al suroccidente del municipio, principalmente en el corregimiento la Meseta en la vereda de Bajo Gualimbio, para la elaboración de panela, este cultivo es representativo en el municipio y también está asociado a las áreas agrícolas.

e) Áreas agrícolas heterogéneas: Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales (IDEAM, 2010). Estas áreas agrícolas heterogéneas, se presentan formadas por mosaicos de cultivos permanentes y transitorios asociados a árboles, arbustos y pastos, en su mayoría se encuentran ubicados en zonas de ladera y ocupan un área de 8.000 Ha (16,7% del municipio). Las áreas más representativas en el municipio son las siguientes:

- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. En el suroriente del municipio, en los corregimientos de Samanga y Santa Barbara, se encuentran cultivos de café con sombrío de plátano (*Musa paradisiaca*), yuca, frijol (*Phaseolus vulgaris*), pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y especies arbóreas principales como: eucalipto (*Eucaliptus globulus*), roble (*Quercus humboldtii*) y guadua (*Guadua angustifolia*), cultivos de mora (*Rubus glaucus*) y lulo (*Solanum quitoense*), los cuales se encuentran en el corregimiento de Santa Barbara. En el suroccidente del municipio, en los corregimientos de Rio Hondo, la Yunga y Figueroa, se encuentran cultivos de café con sombrío de plátano, caña panelera, pasto kikuyo, helecho marranero (*Pteridium aquilinum*) y helechillo (*Polypodium* sp). En el sector noroccidente, en los corregimientos de los Cerillos, La Calera, Las Mercedes, San Rafael, San Antonio, se encuentran cultivos de café con sombrío de plátano y guamos (*Inga edulis*), caña panelera, chontaduro (*Bactris gasipaes*), aguacate (*Persea americana*), cucharo (*Myrsine guianensis*), roble (*Quercus humboldtii*), pasto kikuyo, jigua (*Nectandra* sp), yarumo (*Cecropia peltata*) y guadua

f) Mosaico de pastos con espacios naturales: Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales, los cuales no puede ser representado individualmente, los pastos representan entre 30% y 70% de la superficie total del mosaico. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque ripario, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas y que, debido a limitaciones de uso, por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural (IDEAM, 2010). Estas coberturas se encuentran principalmente al nororiente del área de estudio en el corregimiento de Quintana, veredas San Ignacio, San Juan y La Laguna límites con San Juan y al suroriente en el corregimiento de Poblazon, por la hacienda La Esperanza, sector alto de la quebrada Yaquiva. En el corregimiento de Quintana se identificaron las siguientes especies vegetales: arrayan (*Myrcia* sp), charmolan (*Hyeronima macrocarpa*), aliso (*Allnus acuminata*), chilco (*Escallonia paniculata*), cucharo, cordoncillo (*Piper* sp), guarango (*Mimosa quitensis*).

Mosaico de cultivos con espacios naturales: Corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, se presentan como pequeños parches o relictos de bosque, arbustales, bosque ripario, vegetación secundaria o en transición, zonas pantanosas u otras áreas no intervenidas o poco transformadas que permanecen en estado natural o casi natural que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. Las áreas de cultivos representan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. (IDEAM, 2010) En el municipio se identificaron principalmente en el sector noroccidental en el corregimiento de Santa Rosa, vereda San Antonio, corregimiento La Calera, en límites con el Rio Palace haciendo parte del bosque ripario; cultivos de café con sombrío de plátano, caña panelera, guadua, cucharo, guamos y cana brava (*Gynerium sagittatum*), en el corregimiento Los Cerrillos en límites a la desembocadura del Rio Hondo al Rio Cauca, haciendo parte del bosque ripario, cultivos de chontaduro, caña panelera, café con sombrío de plátano, guamos, cucharo, cachimbo (*Erythrina poeppigiana*), nacedero (*Delostoma roseum*) y jigua y en el sector suroccidental en el corregimiento de Figueroa parte baja en límites con vereda la Playa, cultivos de café con sombrío de plátano, caña panelera, cucharos, aguacatillo (*Persea coerulea*), jigua y en el sector de la vereda de Torres y Puelenje límite con la vereda la Playa cultivos de café con sombrío de plátano, maíz, guadua, guamos y roble, ubicados en el nacimiento de las quebradas Zancadas y las Chozas.

g) Pastos limpios: Esta cobertura comprende las tierras ocupadas con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%, de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia POACEAE, (*Hydrocotyle* sp), (*Lacnilla aphanoides*), (*Oxalis* sp), helechos (*Pteridium* sp) y vegetación rasante, dedicadas al pastoreo extensivo principalmente de ganado vacuno (IDEAM, 2010). Esta cobertura está presente en la mayoría del área de estudio, estructurada por asociaciones de pastos kikuyo, estrella (*Cynodon plectostachyus*), grama (*Paspalum* sp), braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y pastos mejorados de corte como maralfalfa (*Pennisetum* sp) y king grass (*pennisetum purpureum*) en baja proporción, donde se maneja una ganadería de tipo semiintensivo ubicados principalmente en el corregimiento de Santa Rosa en la vereda Morinda y en el corregimiento de San Bernardino en la vereda el Bosque en límite con el área urbana. En el resto del municipio se maneja una ganadería extensiva, desarrollada en algunos casos en zonas de altas pendientes lo cual acelera procesos de erosión y reptación. Por extensión, se constituyen en la principal cobertura en el área de estudio, ocupando un área de 8.062 Ha, lo cual representa el 16,9% del área de estudio.

▪ **Pastos degradados:** Corresponde a coberturas de pastos limpios degradados, originados desde hace muchos años, según la información de la comunidad, por el pisoteo continuo de la ganadería de tipo intensivo; donde hoy en día es una actividad de ganadería extensiva, se evidencian procesos de remoción en masa, como terracetas, surcos, cárcavas y reptación. El terraceo genera caminos en zigzag, que producen pequeños escalonamientos ocasionando compactación en la estructura del suelo, disminución de su capacidad productiva y menor capacidad de carga, lo cual favorece la escorrentía. Se da principalmente en la zona Sur –oriente del municipio, ocupando un área de 2.179 Ha, lo cual representa el 4,6% del área de estudio

h) Pastos enmalezados o en rastrojados: Cobertura de importancia por su extensión y el tipo de vegetación que ha surgido en forma natural por procesos en sucesión no muy avanzados (IGAC, 2010), predomina la vegetación rasante, grama natural, helechos y algunos elementos arbóreos; producto de una intensa actividad antrópica especialmente quemas, para adecuación de actividad agropecuaria y después procesos de abandono, se encuentra en la mayoría del área de estudio, siendo el sector suroccidente en los corregimientos: Rio Hondo, La Yunga y noroccidente en los corregimientos: Las Mercedes, La Calera y Bajo Gualimbio, los de mayor extensión. Ocupan un área aproximada de 4.294 Ha lo cual representa el 9% del área de estudio.

j) Pastos arbolados: Cobertura con pastos y presencia de árboles distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles es menor del 30% del área total de la unidad de pastos (IDEAM, 2010). Se encuentran en gran parte del área de estudio. Entre las especies vegetales más frecuentes se encuentran potreros con pasto kikuyo, aliso, motilón (*Freziera canescens*), guarango, Galvis (*Senna pistacifolia*), chilco, encenillo y roble. Ocupan un área aproximada de 2.257 Ha lo cual representa el 4,7% del área de estudio.

i) Un bosque denso: se caracteriza por una vegetación arbórea abundante, donde los árboles forman un techo (dosel) casi ininterrumpido que cubre más del 70% de la superficie total. Estas formaciones vegetales han tenido una intervención selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999), ofrecen buen control de la escorrentía, estabilidad al suelo y en consecuencia contribuye a regular el ciclo hidrológico de grandes áreas, debido a esto se considera una cobertura de gran importancia, sin embargo, solo ocupa un área de 326,5 Ha, se encuentran ubicados principalmente al nororiente del municipio, corregimiento de Piedras, vereda las Huacas y Clarete, corregimiento de Quintana por la quebrada Santa Teresa, vereda San Ignacio y San Juan. Predominan especies arbóreas naturales como roble, cucharo, encenillo, aliso, charmolán, laurel (*Morela pubescens*) y nacedero.

j) Bosque Abierto: cobertura vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, con un estrato de copas (dosel) discontinuo, área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad, constante y continua presión antrópica, intervenido por tala selectiva con la presencia de algunos pastos enmalezados y vegetación secundaria, parches ubicados en toda el área de estudio (IDEAM, 2010).

Entre las especies más representativas se encuentran el roble, encenillo, pino patula (*Pinus patula*), siete cueros (*Monochaetum lineatum*), aliso, carne fiambre (*Panopsis* sp), huesillo (*Lepechina* sp), chilco, cucharo, jigua, grama, helechos, ciprés (*Cupressus lusitanica*), aguacatillo, acacias (*Acacia* sp). Cobertura identificada en las veredas de Clarete, Las Huacas, El Cabuyo, La Laguna, San Juan, San Ignacio. Ocupa un área de 2.158,1 Ha lo cual representa el 4,5% del área de estudio.

k) Bosque ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales (IDEAM, 2010). Se encuentra distribuido en todo el municipio. Las especies dominantes son: cordoncillo, miconias (*Miconia*

sp), roble, aliso, cucharo, encenillo, nacedero, palicurea (*Palicourea heterochroma*), laurel, lechero (*Euphorbia laurifolia*), entre otras. En el sector nororiental, existe muy buena cobertura vegetal, protección y aislamiento de fuentes hídricas desde su nacimiento y en su recorrido. En el sector suroriental, en los corregimientos El Canelo, Poblazón, Santa Barbara en las veredas Santa Helena y Alto Pesares, se identificaron relictos de estos bosques con alto grado de intervención, rodeados de pastos limpios y pastos degradados, principalmente en las partes altas. En el sector noroccidental, en la subcuenca del Río Palace se cuenta con cobertura arbórea abundante, en algunos tramos hay mosaicos de cultivos y espacios naturales, principalmente de café con sombrío de plátano y caña brava. Estos bosques ocupan el tercer lugar en cobertura, después de las áreas agrícolas heterogéneas, con un área aproximada de 6.721 Ha que representa el 14% del área de estudio.

l) Un arbustal: denso es una comunidad vegetal donde predominan los arbustos, cubriendo más del 70% del área. Aunque la vegetación principal son los arbustos, pueden encontrarse árboles dispersos dentro de esta formación. La intervención antrópica ha sido selectiva, por lo tanto, no ha alterado su estructura original y sus características funcionales (IDEAM, 2010). La vegetación achaparrada, típica del subpáramo (entre 2.900 y 3.300 metros sobre el nivel del mar), se encuentra principalmente al nororiente y suroriente del municipio. Esta cobertura bordea la zona de páramo en la parte alta del corregimiento de Quintana, específicamente en las nacientes de las quebradas Santa Teresa, Arrayanales y Aguas Claras, así como en las veredas San Juan y San Ignacio y los cerros Carga Chiquillo, El Muñeco y Tomaire. Se encuentra también en el corregimiento el Canelo, vereda El Canelo, canon del Río Cauca, al límite con el municipio de Puracé. El uso actual del suelo de esta área que la comunidad le ha dado a estos cerros es de protección y conservación, aunque se observa algunos parches de extracción arbórea para ser remplazada por pastizales y siembra de pino ciprés para uso comercial en las laderas de los cerros. Ocupa 2.588 Ha lo cual representa el 5,5% del área de estudio.

m) Herbazales densos bajos de tierra firme no arbolados: Corresponde a la vegetación propia del páramo, ecosistema localizado entre el límite superior del bosque y la línea de las nieves perpetuas con un tipo de vegetación característica (IDEAM, 2010). Estructuralmente esta vegetación se determinó como Herbazales densos bajos o herbazales densos de tierra firme no arbolados, según la metodología de Corine Land Cover. Ubicado en la parte alta del corregimiento de Quintana, vereda Santa Teresa, cerro Carga Chiquillo, límite con el municipio de Puracé, se

presenta desde los 3.700 msnm, en el cerro de Carga Chiquillo y Puzna a 3.156 msnm. En esta cobertura se encuentra el frailejón (*Espeletia Cuartesianana*), los pajonales (*Calamagrostis* sp) y otras asociaciones vegetativas como el mortino (*Miconia theaeasans*), la piñuela de paramo (*Puya* sp), helechos y también están asociados, los musgos (*Sphagnum* sp) y parches de lo que comúnmente es conocido como colchón de pobre (*Distichia* sp). (Agredo y Macias, 2006). Ocupan 187 Ha lo cual representa el 0,4% del área de estudio.

4.1.11. Fauna

Mamíferos.

Según el documento diagnóstico del plan de ordenamiento territorial de Popayán urge la necesidad de generar información y de realizar investigaciones sobre fauna y flora que conlleven a generar alternativas de protección y conservación de estas áreas boscosas, considerando que la información sobre los mamíferos en la región Andina es escasa (Sánchez et al. 2004), y que hay una generalizada escasez de información sobre mamíferos en áreas urbanas y sus alrededores rurales, así como de las implicaciones de la presencia de mamíferos en estas zonas.

El objetivo de este capítulo es integrar la información disponible sobre las especies de mamíferos que habitan tanto en el área urbana como rural del municipio de Popayán. Se busca así aportar al entendimiento de su distribución, ecología, historia natural y usos tradicionales en la región, ofreciendo un punto de inicio para futuras investigaciones en esta zona del país. De acuerdo con Ramírez-Chaves et al. (2008), para el municipio de Popayán se registró un total de 60 especies de mamíferos nativos, con un total de 298 ejemplares procedentes del municipio de Popayán depositados en las colecciones del Field Museum of Natural History - FMNH (112 ejemplares), Royal Ontario Museum - ROM (74 ejemplares), Texas Cooperative Wildlife Collection - TCWC (36 ejemplares), Los Angeles County Museum of Natural History - LACM (29 ejemplares), American Museum of Natural History - AMNH (27 ejemplares), Michigan State University Museum - MSUM (11 ejemplares), Museum of Vertebrate Zoology - MVZ (8 ejemplares), United States National Museum of Natural History - Smithsonian Institution - USNM (1 ejemplar). En las bases de datos de colecciones a nivel mundial, se identifican 38 especies. De este total, diez especies tienen su origen en el municipio de Popayán y no se encuentran documentadas en las

colecciones de Colombia. A continuación, se presenta el listado de especies de mamíferos del municipio de Popayán, de acuerdo con lo reportado por Ramírez Chaves et al. (2008).

Los mamíferos reportados se restringen a ardillas (*Sciurus granatensis*), sin descartarse la probabilidad de encontrar ratones y conejos de campo, además de murciélagos (Quiroptera). Existe la posibilidad de encontrar también un marsupial (raposa o zarigüeya). Algunas especies observables en la zona son: chucha (*Didelphys marsupialis*), pecarí (*Tayassu pecari*), ardilla (*Sciurus* sp.), armadillo, murciélago, ratón gris, rata, conejo, zorro, chucuru, tigrillo erizo. La variedad de fauna en el municipio está limitada a especies como zorros, armadillos, algunos venados, borugas. Esta limitación en la presencia de animales silvestres se debe a la desaparición de áreas boscosas por condiciones antrópicas y por acciones depredadoras entre los mismos animales (DANE, 2021)

Aves

El interés creciente de los últimos años radica en la gran importancia que tiene el municipio de Popayán y el departamento del Cauca como potencia por el alto número de especies de aves, al punto en que ha sido reconocido por diversas instancias como uno de los grandes potenciales que tiene la región, en el sector del turismo.

Entre las aves del sector urbano de la ciudad de Popayán, se presenta a continuación el listado de especies avistado en el área de la Eme.

Tabla 6

Lista de aves del sector urbano

Especies observadas	Cantidad
<i>Amazilia tzacatl</i>	4
<i>Anthracothonax nigricolis</i>	2
<i>Arremon brunneinucha</i>	2
<i>Atlapetes latinuchus</i>	2
<i>Basileuterus Culicivorus</i>	1
<i>Columba livia</i>	10
<i>Columbina talpacoti</i>	1
<i>Coragyps atratus</i>	8
<i>Dryocopus lineatus</i>	1
<i>Leptotila plumbeiceps</i>	2

<i>Melanerpes formicivorus</i>	2
<i>Momotus aequatorialis</i>	4
<i>Myioborus minuatus</i>	1
<i>Columba livia</i>	10
<i>Coragyps atratus</i>	8
<i>Pionus menstruus</i>	8
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	9
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	6
<i>Sporophila nigricollis</i>	4
<i>Turdus ignobilis</i>	6
<i>Tyrannus melancholicus</i>	5

Nota: POT

El uso indiscriminado del suelo por la, prácticas agrícolas y de pastoreo han ocasionado que la vegetación natural en la zona rural del municipio esté en constante detrimento; aun así, se pueden contar algunas especies nativas como: Las aves con especies como pájaro ardilla (*Piaya cayana*), halcón cernícalo (*Falco sparverius*), carpintero (*Melanerpes formicivorus*), las cerrajas o quinquinas (*Cyanocorax yncas*), y garrapatero (*Milvago chimachima*), entre muchas otras. Torcaza frijolera, torcaza morada, torcaza roja, pava cara azul, chorlo, periquito verde, perdiz, llauta, tres-tres, calaquinge, churrasquero, semillero, semillerito, semillerito negro, pacunguero, toreador, fio, toreadorcito, colibrí cola de raqueta, carpintero, dormilón, garrapatero, halconcito, guaraguáu, gallinazo, hormiguero, golondrina común, quinquina, chicao, garcita del ganado, morrocoy, gavián coliblanco, gavián, vencejo, vencejo tijereto, vencejo, chiguaco, flautero, chiguaquillo, gorrión, azulejo, mirla gris, cucarachero, fio copeton, platanero – pisa, pisa, chupaflor, paloma, azulejo, Torcaza frijolera, torcaza morada, torcaza roja.

4.1.12. Subsistema Sociocultural y Económico

- **Demografía**

Según el censo de población y vivienda 2018 realizado por el DANE Popayán tiene un total de 277.270 habitantes aproximadamente, de los cuales 133.282 son hombres y 143.988 son mujeres, valores que representan respectivamente el 51,1% y el 48,9%. Igualmente, la distribución poblacional tiene una concentración urbana del 66,47% (179.469) con mayor cantidad, en el sector rural con un 33,53% (90.531) (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

- **Dimensión Económica**

El Municipio de Popayán en la zona rural es por tradición que su economía está basada en las prácticas agrícolas, pecuarias, extracción de material y ladrilleras, la mayoría de las familias están asentadas en la zona rural y viven de los cultivos de café, plátano y frutales, además de la ganadería, crianza de animales domésticos (curies, gallinas, cerdos y conejos), extracción de material de construcción (Arena y piedra) y ladrillos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Es importante mencionar que en los últimos años se han logrado ejecutar diversos proyectos que favorecen al sector agropecuario y que contribuyen en el mejoramiento de la calidad de vida de la población campesina, mediante la inversión en la competitividad de diferentes sectores productivos como el café, plátano y ganadería; también se ha mejorado la infraestructura vial para que los productos puedan a la zona urbana del municipio; y se han realizado nuevas alianzas para promover y fortalecer el emprendimiento.

En lo relacionado con la producción del Café, es una de las labores agrícolas más importantes del municipio en el ámbito social y económico, debido a que esta actividad es la base de la economía campesina y la que genera más empleos tanto directos como indirectos. De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros, seccional Cauca, “Conformada por 43.000 familias cafeteras en 11 municipios del centro del Departamento que incluyen la Meseta de Popayán, pertenecientes a comunidades campesinas, afrodescendientes e indígenas Nasas y Misak, cultivan cerca de 44.500 hectáreas de café, caracterizadas por su alta tecnificación y productividad (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

Figura 4

Visita de Campo Vda Quintana



Figura 5*Visita de campo Vda Poblazón***Figura 6***Visita de Campo Vda San Rafael*

4.1.13. Identificación y selección los nodos y corredores ecológicos

De acuerdo con los parámetros utilizados en la metodología del Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia), (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.), la cual fue adaptada para las zonas de estudio en el municipio de Popayán, se emplearon tanto fuentes de información secundaria como fuentes de información primaria. Estas últimas correspondieron a registros de campo levantados en puntos estratégicos y accesibles del municipio —particularmente en las zonas de Julumito, Quintana y Santa Bárbara—, donde se verificó la presencia de coberturas boscosas y fragmentos de vegetación natural.

Inicialmente, se realizó un análisis de coberturas en ArcGIS 10.8, empleando el mapa de cobertura del suelo bajo la metodología “Corine Land Cover”, con el fin de identificar posibles áreas de conectividad. Posteriormente, se llevaron a cabo visitas de campo de verificación, realizadas en dos jornadas durante el periodo seco, donde se aplicaron registros visuales y fotográficos georreferenciados como protocolo de observación.

Debido a limitaciones de acceso por condiciones de orden público, algunas áreas fueron validadas de forma remota mediante interpretación visual de imágenes satelitales y contraste con la información cartográfica generada en ArcGIS. Con base en estos procedimientos se seleccionaron los nodos de conectividad ecológica, garantizando la validez espacial de los fragmentos identificados.

Tabla 7

Identificación de nodos (áreas) de conectividad ecológica en el Municipio de Popayán

Capas de coberturas del suelo del municipio	
Capas	Información suministrada
Capa de cobertura 2021	Secretaría de planeación municipal
Capa de drenaje doble	Secretaría de planeación municipal
Capa de construcciones	Secretaría de planeación municipal y fundación universitaria de Popayán
Capa de centros poblados	Secretaría de planeación municipal y fundación universitaria de Popayán
Capa de vías primarias, secundarias y terciarias	Secretaría municipal infraestructura departamental
Capas de rondas hídricas	Secretaría de planeación municipal y fundación universitaria de Popayán

Para la selección de los nodos de conectividad ecológica se emplearon las coberturas donde se presentan la mayoría de los recursos de interés para la conservación de la flora y fauna, Están son:

Tabla 8*Coberturas aplicadas para la selección de nodos.*

Coberturas	Descripción
231 Pastos limpios	Son terrenos amplios dedicados al pastoreo, con hierba cuidada y uniforme. No incluyen campos de cultivo para forraje, pastizales silvestres, ni zonas donde hay cultivos o vegetación natural mezclada con el pasto.
232 Pastos arbolados	Estas zonas presentan una combinación de pastizales y árboles, con una cobertura arbórea que oscila entre el 30% y el 50% del área total, integrándose con los pastos (identificados con el código 2321). Se ha realizado una distinción precisa entre los pastos que tienen árboles plantados intencionalmente y aquellos donde los árboles han crecido de forma natural o espontánea. La clasificación se centra en los pastizales con árboles no sembrados, es decir, aquellos donde la vegetación arbórea es principalmente nativa o lo que queda de bosques antiguos (excluyendo árboles frutales).
233 Pastos enmalezados	Son terrenos donde predominan los pastizales y la vegetación baja (inferior a 1.5 m). Esto comprende tanto pasturas destinadas a la ganadería como terrenos baldíos con pasto, así como antiguos cultivos de ciclo corto que han sido abandonados por más de 3 años. También se consideran pastos con maleza que crecen junto a linderos vivos o en zonas inundables, siempre que la presencia de cultivos sea inferior al 25% del área.
311 Bosque densos	Son áreas con predominancia de bosque natural, cubriendo más del 75% del terreno, caracterizado por un dosel continuo o casi continuo y una mínima o nula alteración de su estructura y función original. Incluye palmares, guaduales, bosques secundarios y afloramientos rocosos aislados. Se excluyen zonas verdes urbanas, bosques riparios y plantaciones. Por su altura, se distinguen bosques densos altos de tierra firme (más de 10 m) y bosques densos bajos de tierra firme (menos de 10 m).
312 Bosque abierto	Son áreas con árboles naturales distribuidos regularmente, cuya cobertura de copas es discontinua y representa entre el 30% y el 70% del área total, sin alteración o con intervención selectiva que preserva su estructura y función original. Incluye cultivos, pastos y otras coberturas menores al 30%, así como áreas degradadas y rocas expuestas. No comprende bosques plantados ni riparios.

313 Bosque fragmentado	Son áreas con más del 75% de bosque nativo alterado 'por la actividad humana, A pesar de esta intervención aún conservan su estructura original. se pueden encontrar zonas pequeñas de pastizales, cultivos y vegetación que está en proceso de regeneración (conocida como rastrojo), entre el 5% y el 30% del área total, o hasta el 70% si los parches son de vegetación transicional. También pueden incluir áreas degradadas y/o afloramientos rocosos.
314 Bosque de galería y ripario	Son áreas lineales de vegetación natural, como bosques, palmas o guaduales, que se representan en el mapa con un ancho definido. Estas franjas se encuentran ligadas a ríos, quebradas o zonas húmedas. Si el cuerpo de agua es demasiado estrecho para mostrarse a la escala del mapa, se incluye dentro de esta franja de vegetación. No se consideran dentro de esta categoría las áreas cubiertas por arbustos silvestres.
321 Herbazal	Son áreas cubiertas por un estrato herbáceo, sólo o con presencia de árboles o arbustos aislados.
322 Arbustal	Son áreas ocupadas por una cobertura de arbustos o plantas leñosas naturales de alturas entre 0,5 y 5 metros, distinguiéndose, como en el caso anterior.
323 Vegetación secundaria o en transición	Dentro de esta categoría, se consideran tanto la vegetación secundaria alta (3231) como la baja (3232), las cuales corresponden a etapas iniciales de la recuperación del bosque, caracterizadas por la presencia de hierbas y arbustos (conocidas comúnmente como malezas y rastrojos de diferentes alturas).

Nota. Elaboración a partir de IDEAM, 2010.

Como se observa en la tabla, estas capas de cobertura se usaron y aplicaron para el municipio de Popayán para realizar la selección de los nodos (áreas), posteriormente se aplicaron los criterios para la selección de nodos ecológicos:

1. Aplicando una Ecuclidean distance en la cual se cargó la capa de Distancias a vías para generar un ráster luego en la opción output coordenales se carga la capa de límite de Popayán, para que esta capa sea la distancia y la extensión que va a realizar la distance eculidean. Se realiza una reclasificación en la herramienta de Argics está ubicada spatial Analydt Tools- Reclass- Reclassify en el cual se carga el ráster de distancias a vías y se realiza una valoración numérica de acuerdo con los parámetros ya establecidos y descriptos en la metodología, para que nos dé una distancia a la cual las vías se encuentran a cuantos metros de la cobertura de acuerdo con los parámetros.

2. Realizado esto las áreas preseleccionadas fueron 639, posteriormente se aplicó el procedimiento dando una cantidad de 365 nodos en totalidad, para priorizar se realizó un algebra donde se cruzaron capas de: Vías, áreas pobladas y distancias a rondas hídricas, para que arrojará los nodos con una buena calificación, los cuales nos dio 56, y dado ese resultado se escogió de forma racional que los nodos se encontraran distribuidos en el municipio, los cuales se escogieron 34.

4.1.14. Modelamiento de fragmento de bosque o nodos

Definición de los nodos de conservación a conectar se diferenciaron 639 fragmentos definidos como coberturas naturales de bosques en diferentes estados. Basado en los criterios de priorización (Distancia a centros poblados, distancia a rondas hídricas, distancia a vías, tamaño), se obtuvieron 34 fragmentos de bosque o nodos prioritarios para conservación en el municipio de Popayán. Estos 34 fragmentos presentaron en conjunto una superficie total de 3468,661322 ha, y oscilaron en tamaños desde 7,627617ha hasta 681,487907ha.

- El proceso realizado de priorización se muestra en la ilustración siguiente: Se aclara que los nodos priorizados en total son 34.

Como lo muestra la ilustración 4 a escala 1:50.000 se definió por colores la cantidad de nodos presentes en cada vereda, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

No hay presencia de nodos: Los Cerrillos, Las mercedes, La meseta, Julimito, Samanga, y Calibio.

1 nodo: San bernardo, CM Popayán, La rejoya, Cajete, Figueroa, San Rafael, El canelo

De 2 a 3 nodos: Poblazón, La yunga, Santa rosa

De 4 a 6 nodos: Las piedras y Santa bárbara

De 7 a 9 nodos: Quintana

Figura 7

Nodos priorizados



Priorizados los nodos como lo muestra la figura 7, se realizó el diseño del modelo de conectividad en la Fase 3, fundamentado en el análisis espacial de la Matriz de Fricción al Desplazamiento basado en la metodología de Rutas de Menor Costo (Least Cost Path - LCP).

El resultado gráfico del análisis LCP es el Mapa de Costo Acumulado (mapa de calor) se aclara que este no es una clasificación estadística, sino la representación espacial de la ruta con la menor resistencia (menor suma de valores de fricción) que conecta los nodos de Popayán.

Para realizar la matriz de fricción se realizó la normalización donde se transforma variables que se miden en diferentes unidades (hectáreas, códigos, números ordinales) en una escala común y sin unidades, generalmente entre 0 y 1, dicha normalización se realizó a las calificaciones asignadas para cada variable tales como cobertura, distancia a vías, área de nodos esto permite integrar las variables en una solo modelo, el cual sirvió como base para la simulación del desplazamiento de especies y la de delimitación de las rutas de conectividad ecológica.

Se aplicó a las diferentes variables la siguiente ecuación:

Ecuación para valor normalizado:

$$\text{Valor normalizado} = \left(\frac{\text{Valor real} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}} \right)$$

Se resalta que la única excepción de la fórmula se aplicó a la siguiente variable:

Tabla 9

Distancia a vías

Distancia real	Valor asignado	Interpretación para la Fauna	Tipo de Variable
>300m	1	Mínimo riesgo	Beneficio
110m a 300m	2	Riesgo (medio)	Neutro
0m a 100m	3	Máximo riesgo (peor)	Costo

La escala de 1 a 3 para la Distancia a Vías ya no es una escala de Beneficio, sino una escala de Costo Inverso. Para que el Score funcione, debemos normalizarla de manera que el valor más bajo (1, la distancia segura) le dé el Score normalizado más alto (1).

Normalización de Distancias a Vías

La fórmula de costo para invertir la escala, donde el valor real más bajo (1) se convierte en valor normalizado más alto (1)

$$Norm\ de\ Costo = 1 - \left(\frac{Valor\ real - Valor\ mínimo}{Valor\ máximo - Valor\ mínimo} \right)$$

Nodo con valor real 1(mejor) -> 1

Nodo con valor real 3(peor) -> 0

El análisis general del valor normalizado de todas las variables estará sujeta a 3 valores normalizados, 0 es el valor de menor fricción es decir mayor facilidad de movimiento y donde la zona es favorable para el movimiento de especies, 0.5 fricción intermedia donde la zona de condiciones es moderada, el paso es posible, pero con cierta resistencia, y por último el valor de 1 donde la fricción es mayor y la zona poco permeable o casi barrera para las especies.

Tabla 10

Variable y su importancia ecológica

Variable	Importancia	Justificación ecológica	Peso sugerido
Cobertura vegetal	Muy alta	Define la calidad y continuidad del hábitat, Un nodo con cobertura natural tiene más valor para la conectividad.	0.25
Área del nodo	Media Alta	Determina la función ecológica: fragmentos grandes son fuentes de conectividad	0.25
Distancia a rondas hídricas	Alta	Las rondas actúan como ejes naturales de conectividad y refugio para fauna y flora.	0.15
Distancia a vías	Media	A mayor distancia de vías, menor fragmentación y perturbación. Pero no es tan determinante como la cobertura	0.15
Distancia a centros poblados	Media - baja	Representa presión antrópica. Nodos alejados de poblados son más favorables, pero su influencia es moderada.	0.10

Tamaño de lotes	Baja	Lotes más grandes permiten mayor extensión de hábitat, pero su efecto es secundario frente a los anteriores factores	0.10
------------------------	------	--	------

Por último, se aplica la fórmula a las cinco (5) variables y sus respectivos pesos los cuales refleja su importancia, la fórmula completa para el Score de cada uno de los 34 nodos es:

$$\text{score nodal} = (\text{cobert}_{Norm} * 0.25) + (\text{Rondahidrica}_{Norm} * 0.15) + (\text{Vías}_{Norm} * 0.15) + (\text{Poblados}_{Norm} * 0.10) + (\text{Lotes}_{Norm} * 0.10) + (\text{área del nodo}_{Norm} * 0.25)$$

Donde:

Score Nodal siempre será un valor entre 0 y 1. (Cercano a 1 = Mejor candidato a Origen).

Valor Normalizado es la puntuación (entre 0 y 1) que resulta de aplicar la fórmula de Beneficio o Costo a la variable original.

Peso es el porcentaje de importancia que asignaste a esa variable (la suma de todos los pesos es 1.00 o 100%).

Se pueden ver los resultados del procedimiento anterior en el ANEXO 1, el cual es insumo para la priorización de los nodos, mediante el análisis de suma ponderada. Este análisis cuantitativo arroja un score nodal para los 34 fragmentos, a partir de los valores ponderados obtenidos en la matriz de fricción, se realizó la clasificación de los nodos ecológicos según su score final, el cual representa la idoneidad ecológica de cada área para funcionar como punto de origen o destino dentro de la red de conectividad. Los valores más altos indican mayor permeabilidad y menor fricción para el desplazamiento de las especies, mientras que los valores más bajos representan mayor resistencia ambiental y, por tanto, funcionan como sumideros o destinos de menor conectividad para ello se usaron los siguientes criterios:

Tabla 11

Interpretación ecológica de los valores >1

Rango de score	Significado ecológico	Acción recomendada
>1.0	Conectividad óptima o núcleo de conservación. Alta prioridad como origen	Mantener y proteger; crear zonas buffer

0.6 – 1.0	Conectividad media-alta, buenas condiciones ecológicas	Conservación con monitoreo y control de presión antrópica
0.3 – 0.6	Conectividad media-baja, sectores intermedios o corredores degradados	Restauración parcial y reforestación selectiva
<0.3	Alta fricción ecológica, núcleos de desconexión o destinos	Restauración integral y reconversión de uso.

Destacando que el top 5 de nodos ORIGEN lo lidera la vereda Quintana, con un score de 0.925 concentra más del 65% del área total del bosque, lo que justifica su rol como principal fuente de flujo de especies. Inversamente, los nodos DESTINO, con áreas inferiores a 21 Ha y score por debajo de 0.0099, son los más vulnerables y la principal meta de la conexión de corredores.

Los mejores nodos son los que tienen la mejor combinación de Área grande y Mínimo riesgo vial (Valor 1).

Tabla 12

Nodos origen

Posición	Nombre de la vereda/ nodo	Score
1	Quintana (16)	0.925
2	Quintana (17)	0.864
3	El Cabuyo – Clarete – La Laguna (Objectid 7)	0.795
4	El Canelo (20)	0.791
5	San Ignacio (22)	0.753

El Top 5 de nodos: Los nodos 16, 17, 7, 20 y 22 siguen en el Top 5, pero su Score ha bajado ligeramente porque su valor de Distancia a Vías (2, riesgo medio) ya no les da la máxima puntuación en esa categoría. Esto significa que ninguno de sus nodos más grandes está a más de 300 metros de una vía (Valor 1), un dato crítico para su análisis.

Estas veredas además presentan alta cobertura vegetal (bosques o pastos arbolados), mayor distancia a zonas urbanas y vías, y proximidad a rondas hídricas, lo que las convierte en zonas fuente de biodiversidad.

Actúan como puntos de origen para el desplazamiento de especies, favoreciendo el flujo génico, la dispersión de semillas y la movilidad de fauna.

Ejemplos de especies beneficiadas:

Fauna: *Didelphis marsupialis* (zarigüeya), *Cerdocyon thous* (zorro cangrejero), aves como *Turdus fuscater* (mirra andina) y *Penelope montagnii* (pava andina).

Flora: especies de *Quercus humboldtii* (roble), *Ocotea* spp. y *Clusia* spp. que mantienen estructura forestal y proveen alimento y refugio.

Tabla 13

Nodos destino menor conectividad ecológica

Posición	Nombre de la vereda/ nodo	Score
1	La Yunga (25)	0.0000
2	Figueroa (26)	0.0002
3	La Laja (27)	0.0003
4	Rejoya (21)	0.0052
5	Unión la cabrera (22)	0.0099

Estas áreas presentan menor cobertura natural, alta proximidad a vías y centros poblados, y tamaños de lote pequeños, lo que incrementa la fricción ecológica. Funcionan como sumideros de conectividad, donde se pierde parte del flujo biológico y son zonas prioritarias para la restauración ecológica mediante la reforestación de franjas riparias, cercas vivas y enriquecimiento de parches boscosos.

4.1.15. Corredores rurales ideal

Como antecedente de proceso de corredores se tiene el estudio realizado por la (convenio 332, 2018), de “Implementación De Acciones Para La Gestión Ambiental En Cinco Cuencas Abastecedoras Y Trece Microcuencas Del Sector Urbano Encaminadas A Fortalecer Los Procesos Del Municipio De Popayán Como Ciudad Sostenible Resiliente” (IDEAM, 2010)., donde se realizó el protocolo de intervención para el manejo de corredores verdes de las zonas rurales del municipio de Popayán donde se tuvo en cuenta la cobertura de bosque y la ronda hídrica para tener una cobertura total y conectividad con todos los nodos del municipio para sí llegar a tener corredor

rural ideal, donde las rondas hídricas se identifican con un color fucsia y la cobertura de bosque con un color verde, se utilizó la ronda para identificar las áreas de reforestación en el municipio de Popayán.

El proceso realizado de corredores se muestra en la ilustración siguiente. Se aclara que el procesamiento cartográfico de esta salida obedece a los siguientes insumos base, que se procesaron mediante digitalización Arcgis:

- Orto foto 2021 (“instituto geográfico Agustín Codazzi”)
- Cobertura corine land cover 2021 (Cr, municipio Popayán)
- Cobertura: capa de secretaria de planeación municipal
- C.P: Secretaria de planeación municipal y fundación universitaria de Popayán
- Vías: Secretaria de infraestructura departamental
- Rondas hídricas: Secretaria de planeación municipal
- Base de información IGAC “instituto geográfico Agustín Codazzi”
- límite del municipio de Popayán: IGAC “instituto geográfico Agustín Codazzi”

Modelamiento de la red ecológica rural ideal

Se propone la implementación de 190 corredores ecológicos, cada uno con una extensión de 100 metros de ancho, para interconectar los 34 puntos nodales identificados como prioritarios. Esta estrategia permitiría el establecimiento de una red de conexión entre todos los nodos. La superficie total abarcada por estos corredores suma 4742,155591 hectáreas. Al analizar la composición de la cobertura vegetal dentro de estos corredores proyectados, se estima que las áreas boscosas representan aproximadamente el 30% (1579,794518 ha). Las zonas correspondientes a rondas hídricas con necesidad de reforestación comprenden la mayor extensión, cubriendo 3162,979411 hectáreas a lo largo de 100 metros a partir de los cuerpos de agua. De esta manera, cerca del 70% de los corredores planteados se encuentran predominantemente influenciados por las rondas hídricas.

• El proceso de realizado de priorización se muestra en la ilustración siguiente: Se aclara que la red ecológica rural del municipio de Popayán priorizados son los que se encuentran de color

verde que es la cobertura de relictos de bosque existente, los de color fucsia son las rondas hídricas, como se puede observar en la salida cartográfica.

4.1.16. Corredores rurales existente

Como antecedente de proceso de corredores rurales existentes se tiene el estudio realizado por la (convenio 332, 2018), de “Implementación de acciones para la gestión ambiental en cinco cuencas abastecedoras y trece microcuencas del sector urbano encaminadas a fortalecer los procesos del municipio de Popayán como ciudad sostenible resiliente” (CRC y Alcaldía de Popayán 2018), donde se realizó el protocolo de intervención para el manejo de corredores verdes de las zonas rurales del municipio de Popayán donde se tuvo en cuenta la cobertura de bosque existente en la cobertura Cobertura corine land cover 2021 (Municipio Popayán), que en el mapa se encuentra con un color verde para ser identificada con este corredor existente no se llega a tener una conectividad con los nodos ecológicos ya identificados, por ende se utilizó las rondas hídricas donde se mencionaron en el corredor ideal para tener como referencia las áreas que deben ser reforestadas en el municipio para llegar a tener una conectividad ecológica con todos los nodos.

El proceso de realizado de corredores se muestra en la ilustración siguiente. Se aclara que el procesamiento cartográfico de esta salida obedece a los siguientes insumos base, que se procesaron mediante digitalización Arcgis:

- Cobertura 2021 (“instituto geográfico Agustín Codazzi”)
- Cobertura: capa de secretaria de planeación municipal
- C.P: secretaria de planeación municipal y fundación universitaria de Popayán
- Vías: Secretaria de infraestructura departamental
- Base de información IGAC “instituto geográfico Agustín Codazzi”
- límite del municipio de Popayán: IGAC “instituto geográfico Agustín Codazzi”

Modelamiento de la red ecológica existente

Para garantizar la conectividad entre los 34 nodos prioritarios identificados, se sugiere una red de 45 enlaces, cada uno de 100 metros de ancho. Esta configuración establecería interconexiones entre todos los nodos. Teniendo en cuenta los tipos y tamaños de coberturas

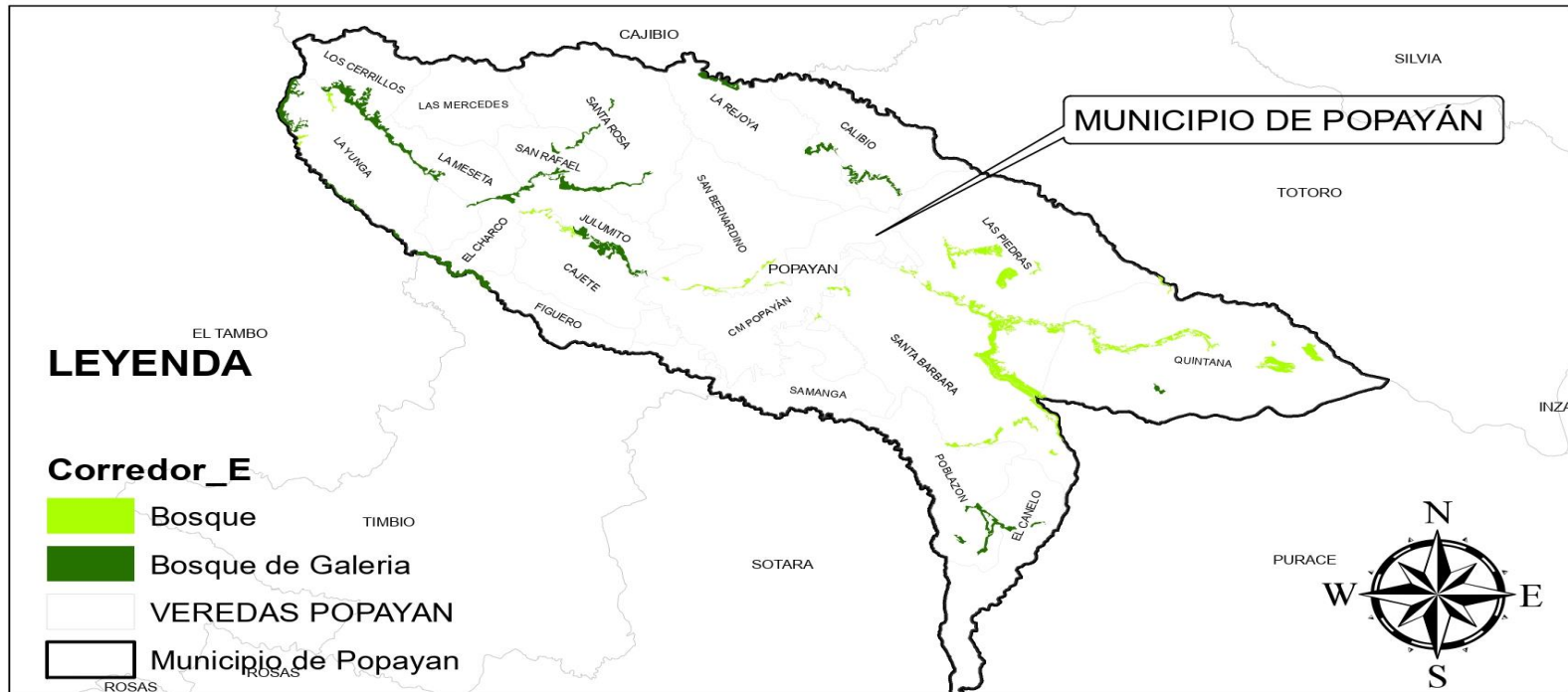
representados en los enlaces, los bosques representan un 30% de la cobertura presente en los enlaces propuestos (1579,794518 ha).

- El proceso de realizado de priorización se muestra en la ilustración siguiente: Se aclara que la red ecológica rural del municipio de Popayán priorizados son los que se encuentran de color verde que es la cobertura de relictos de bosque existente, como se puede observar en la salida cartográfica.

Figura 8

Corredor existente

CONECTIVIDAD ECOLOGICA DEL MUNICIPIO DE POPAYAN CORREDORES EXISTENTES



Alcaldía de Popayán

ELABORADO POR:
JESÚS DAVID CASTRO B.

MAPA: 1 de 1

FECHA DE ELABORACIÓN:
Febrero del 2024

DATOS GENERALES:

Coordinate System: MAGNA Colombia Oeste
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1,000,000.0000
 False Northing: 1,000,000.0000
 Central Meridian: -77.0775
 Scale Factor: 1.0000
 Latitude Of Origin: 4.5962
 Units: Meter



4.1.17. Corredores urbanos

Como antecedente de proceso de corredores se tiene el estudio realizado por la (convenio 332, 2018), de “Implementación de acciones para la gestión ambiental en cinco cuencas abastecedoras y trece microcuencas del sector urbano encaminadas a fortalecer los procesos del municipio de Popayán como ciudad sostenible resiliente” (CRC y Alcaldía de Popayán, 2018), donde se realizó el protocolo de intervención para el manejo de corredores verdes de las microcuencas del sector urbano del municipio de Popayán. En este estudio se realizó una priorización de los corredores verdes urbanos y hoy la misma se actualiza en función de las necesidades y diagnóstico ambiental lo que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 14

Corredores urbanos

Corredor verde (Rio - Quebrada)	Comuna	Barrios
Rio Cauca	1	Puerta del Hierro, Poblado de San Esteban, La Floresta, Valle Robledo y hacia abajo en el mismo margen sector en consolidación, Quintanar de la Pradera, La Playa, La Cabaña, Genagra
	2	La Paz, Quintas de Jose Miguel, Guayacanes del Rio, Vereda Gonzales
	9	Lomas de Confacauca, Tequendama y Chama.
Rio Molino	Rural	Pueblillo
	3	Colina Campestre, La Violeta, Yancaconas, Bosques de Yanaconas, La Estancia, Bolivar
	4	Bosques de Pomona, Pomona, Portales del Rio, Campo Real, Cadillal, Vasques Cobo, Centro, Modelo
	8	Pandiguando, El Triunfo, La Isla, Camilo Torres, Junin
Rio Ejido	5	Avelino Ull , Braceros, Colgate Palmolive, El Lago, Los Sauces, Maria Oriente
	6	Alfonso Lopez
	7	Retiro Bajo, Minuto de Dios, Tomas Cipriano,

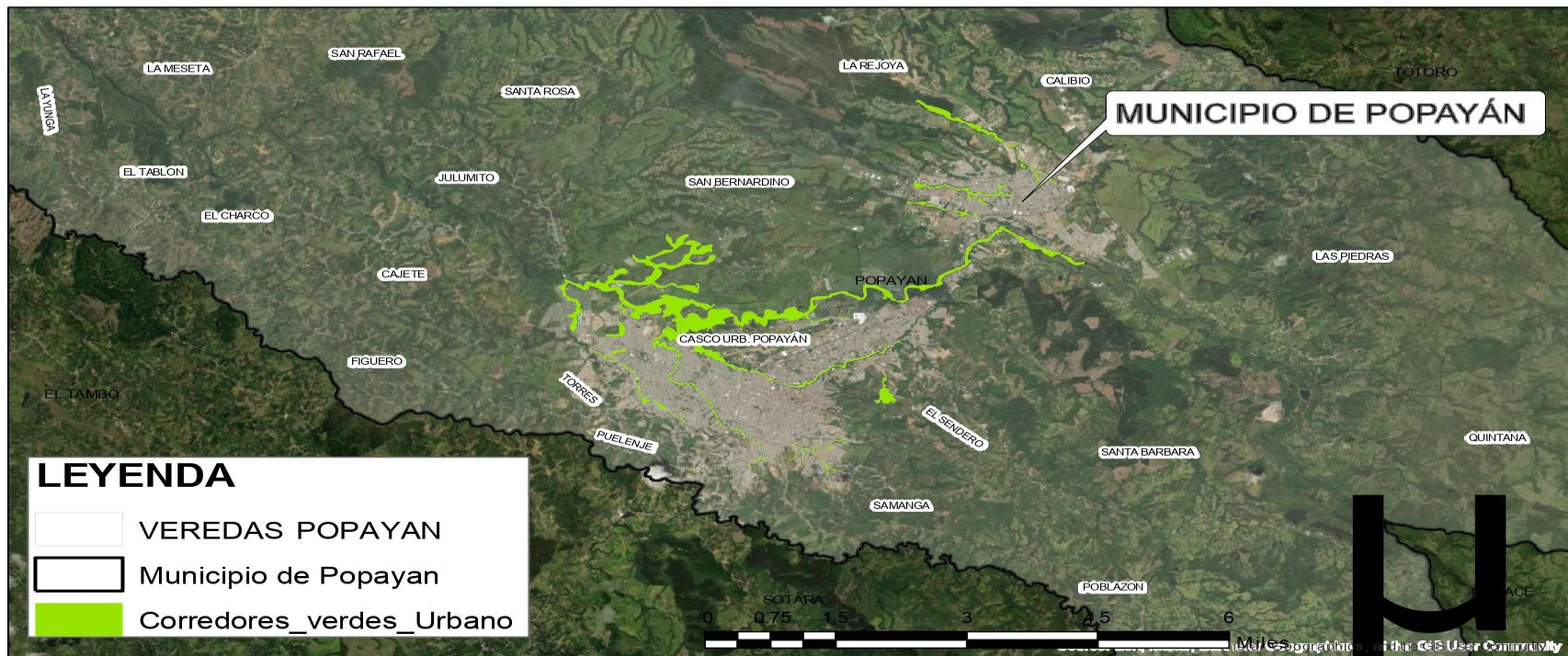
	8	Canada, El Guayabal, El Libertador, Popular, Jose Maria Obando, Santa Elena
	9	kennedy, La sombrilla, San Jose, Nuevo San Jose, El Eden
Quebrada Pubus	7	La Campiña, Los Campos, Las Vegas, Santo Domingo Sabio, CHapinero, La Conquista, La Heroica, Las Palmas, Nazareth, Niño Jesus de Praga, Solidaridad, San Fernando, 31 de Marzo
	9	Lomas de Granada
Quebrada Quitacalzon	2	Bello Horizonte, San Ignacio, Bellavista, el Bambu, Gran Bretaña, Santiago de Cali, El Uvo, La Arboleda, Santa Lucia, Morinda, Bosques de Morinda, Nuevo Milenio, Entrepinos
Quebrada Machangara	1	Predio Gobernación - Confacauca, Machangara, Pontevedra, desembocadura a Rio Cauca
Quebrada la Chirria	Rural	Vereda Pomona
	3	Bosques de Pomona

Se aclara que los corredores urbanos del municipio de Popayán priorizados son los que se encuentran de color verde, como se puede observar en la salida cartográfica.

Figura 9

Corredor urbano

CONECTIVIDAD ECOLOGICA DEL MUNICIPIO DE POPAYAN CORREDOR VERDE URBANO



Alcaldía de Popayán

ELABORADO POR:
JESÚS DAVID CASTRO B.

MAPA: 1 de 1

FECHA DE ELABORACIÓN:
Febrero del 2024

DATOS GENERALES:
 Coordinate System: MAGNA Colombia Oeste
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1,000,000.0000
 False Northing: 1,000,000.0000
 Central Meridian: -77.0775
 Scale Factor: 1.0000
 Latitude Of Origin: 4.5962
 Units: Meter



4.2. Diseño de modelo de conectividad ecológica para la protección y preservación de la flora y fauna del municipio de Popayán.

Se proponen 190 enlaces como corredores ecológicos, de 100 m de amplitud, para conectar los 34 nodos priorizados. El 30% de los enlaces propuestos, corresponde a cobertura de relictos de bosque (1579.79 ha), el 70% de los corredores propuestos, corresponde a un área para recuperación o “área a reforestar”, la cual representa 3162.98 ha de rondas hídricas, con una amplitud de 100m, los enlaces de conectividad de la red ecológica ideal cubren 4742.15 ha del municipio.

Las veredas con mejores condiciones para conectividad ecológica se encuentran: Quintana, El Canelo, El Cabuyo, Clarete, La laguna, San Ignacio, Los Llanos, La Cabrera, Alto Pesares, San Juan, Pisoje Bajo, El Hogar, (Zona centro oriente).

En estos nodos es probable la presencia de especies como:

Didelphis marsupialis (chucha o zarigüeya), especie generalista que actúa como dispersora de semillas y control de insectos, esta especie se mueve por bordes de bosque, cafetales y zonas de y transición.

Melanerpes formicivorus (carpintero bellotero), especie que controla insectos y dispersa semillas, favorecen el control biológico.

Pionus menstruus (loro cabeciazul), especie frugívora y dispersora de semillas, con influencia alta, se desplaza en grupos entre fragmentos manteniendo flujo de semillas.

Sciurus granatensis (ardilla común), asociada a relictos de bosque andino y áreas urbanas arboladas.

Tayassu pecari (pecarí o cerdo de monte), que requiere amplios espacios con continuidad vegetal para su desplazamiento.

Coragyps atratus (gallinazo negro), tiene influencia media en los corredores ya que es indicador de disponibilidad de recursos y funciona como controlador sanitario.

Falco sparverius (halcón cernícalo), especie controladora de pequeños mamíferos e insectos, con una influencia media en la conectividad, usa hábitats abiertos y contribuye al equilibrio trófico.

La existencia de estos mamíferos en los nodos origen confirma que dichas zonas actúan como fuentes ecológicas activas, facilitando la dispersión y la regeneración natural. Su presencia refuerza la importancia de conservar estos fragmentos, evitando su aislamiento por actividades antrópicas como la expansión urbana o el pastoreo.

Por otro lado, los nodos de destino (La Yunga, Figueroa, La Laja, Unión La Cabrera y La Rejoya), con scores más bajos, corresponden a zonas degradadas o sometidas a presión agropecuaria y urbana. En estas áreas, la fauna silvestre es escasa o se limita a especies tolerantes a la perturbación, como murciélagos insectívoros y pequeños roedores.

No obstante, su restauración ecológica mediante corredores ribereños o revegetalización con especies nativas podría permitir el retorno gradual de especies como armadillos, tigrillos y zorros, promoviendo la recolonización natural desde los nodos origen.

4.2.1. *Relación entre Nodos y Aves*

La diversidad de aves registrada en Popayán, tanto en áreas urbanas como rurales, complementa los resultados del modelo de conectividad. En el sector urbano se han identificado especies adaptadas a ambientes intervenidos, como:

Columba livia (paloma doméstica),

Coragyps atratus (gallinazo negro),

Turdus ignobilis (mirla común),

Tyrannus melancholicus (sirirí),

Sporophila nigricollis (semillero).

Estas especies se benefician de la conectividad parcial que proporcionan los parques, árboles urbanos y pequeños relictos de vegetación. Sin embargo, su presencia dominante refleja una comunidad ornitológica empobrecida, típica de ambientes con alta intervención humana.

En contraste, los nodos origen rurales como El Canelo y Quintana albergan condiciones favorables para especies propias de bosque andino y subandino, entre ellas:

Ramphastos ambiguus (tucán andino),

Momotus aequatorialis (barranquero),

Piaya cayana (pájaro ardilla),

Falco sparverius (halcón cernícalo),

Melanerpes formicivorus (carpintero),

Cyanocorax yncas (quiquina).

Estas aves dependen de corredores ribereños, quebradas y zonas boscosas continuas para su desplazamiento y reproducción.

Los corredores ecológicos identificados en el modelo, particularmente los asociados a drenajes y bosques de galería son fundamentales para mantener la movilidad de especies frugívoras y dispersoras de semillas, contribuyendo al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales del paisaje.

4.2.2. Integración de los Resultados

La correlación entre los nodos de alta conectividad y la distribución potencial de fauna permite inferir que el modelo espacial propuesto no solo refleja la estructura física del paisaje, sino también la funcionalidad ecológica de este.

Los nodos origen funcionan como refugios biológicos que sostienen poblaciones estables de mamíferos y aves.

Los nodos destino, aunque actualmente degradados, representan áreas prioritarias para restauración donde es posible recuperar la conectividad y promover la recolonización natural.

La presencia de mamíferos medianos (como el zorro o la tayra) y aves dispersoras (como el tucán o el barranquero) sugiere que el paisaje conserva aún capacidad de resiliencia ecológica.

Por tanto, la implementación de corredores biológicos entre los nodos identificados permitirá reforzar el flujo de especies, reducir el aislamiento genético y garantizar la sostenibilidad ecológica del territorio. Este enfoque contribuye directamente a los objetivos del POT de Popayán, en cuanto al fortalecimiento de la estructura ecológica principal y la gestión integral de la biodiversidad.

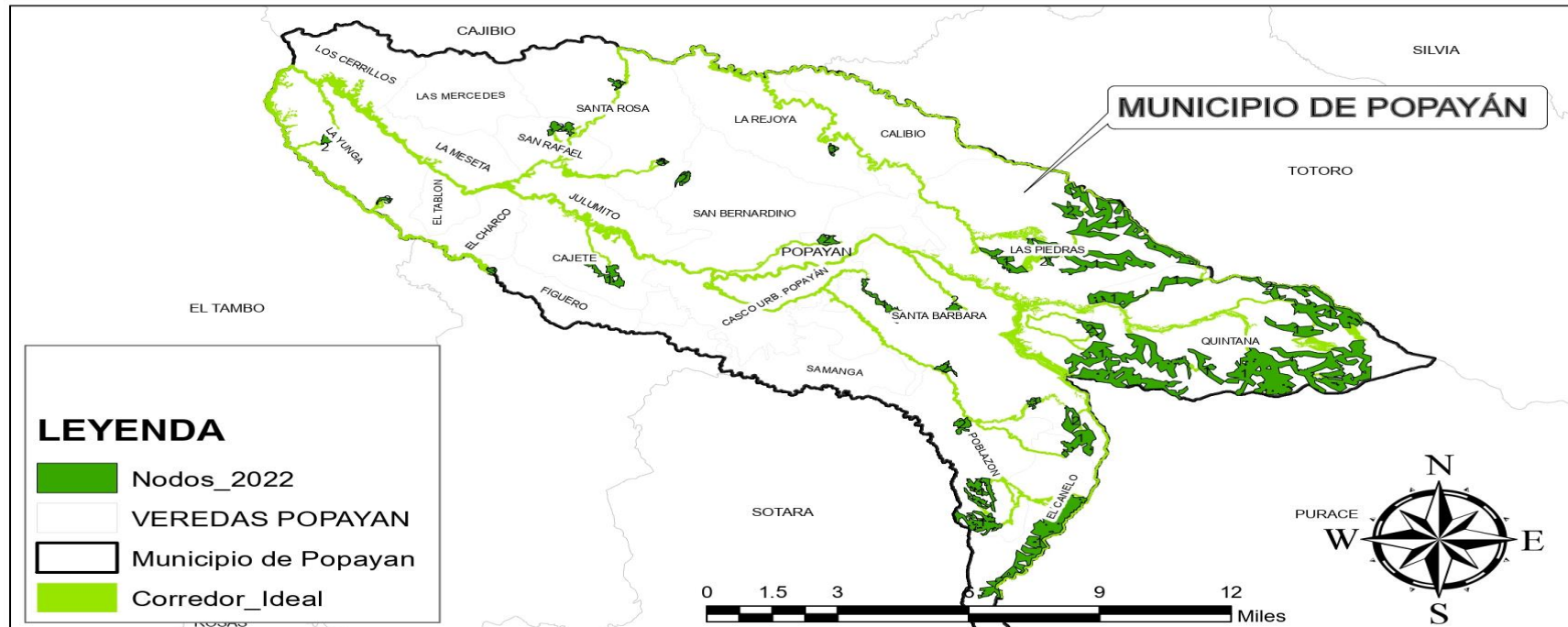
Para poder establecer la conectividad ecológica entre nodos es necesario considerar la restauración de áreas correspondientes a rondas hídricas, ya que su afectación impide la continuidad de los bosques existentes.

Se destaca la importancia de los relictos de bosque fragmentado, ripario, abierto, denso, existentes, ya que de ellos parte la base de la red de conectividad ecológica municipal.

Figura 10

Corredor ideal

RED ECOLOGICA IDEAL MUNICIPIO DE POPAYAN NODOS Y CORREDORES



Alcaldía de Popayán

ELABORADO POR:
JESÚS DAVID CASTRO B.

MAPA: 1 de 1

FECHA DE ELABORACIÓN:
Febrero del 2024

DATOS GENERALES:

Coordinate System: MAGNA Colombia Oeste
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -77.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El predominio de usos agropecuarios y ganaderos particularmente pastos degradados y cultivos transitorios ha generado una fuerte fragmentación del paisaje, interrumpiendo la continuidad ecológica entre los relictos boscosos. Se identifica que solo el 30% de los corredores propuestos (1.579,79 ha) corresponden a bosque remanente, mientras que el 70% restante (3.162,98 ha) requiere procesos de reforestación activa, principalmente en rondas hídricas.

La escasez de información faunística, especialmente sobre mamíferos medianos y grandes, evidencia la necesidad urgente de generar inventarios y monitoreos sistemáticos que fortalezcan la línea base ecológica del municipio. Aun así, la presencia de especies indicadoras como *Tayra barbara*, *Ramphastos ambiguus* y *Momotus aequatorialis* confirma que el paisaje mantiene una capacidad de resiliencia ecológica, susceptible de ser restaurada mediante estrategias de conectividad.

La presencia de mamíferos medianos y aves frugívoras dispersoras de semillas indica que el territorio aún conserva capacidad de resiliencia y de regeneración natural, lo que refuerza la viabilidad ecológica y funcional del modelo propuesto.

Las zonas rurales de Quintana, El Canelo, San Ignacio, San Juan y Piedras presentan las mejores condiciones para el establecimiento de corredores, mientras que sectores como La Meseta, La Calera, Los Cerrillos y Gualimbío requieren intervención prioritaria. En términos de planificación territorial, los resultados del modelo validan la pertinencia de integrar la red ecológica propuesta en el POT municipal, consolidando la estructura ecológica principal (EEP) y orientando decisiones de uso del suelo hacia un desarrollo sostenible.

La información sobre mamíferos, aves y otros grupos faunísticos en Popayán es limitada. Aunque se registran cerca de 60 especies de mamíferos y una amplia diversidad de aves, la ausencia de estudios sistemáticos limita la capacidad de diseñar estrategias de conservación específicas. Esto resalta la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo biológico y los inventarios de biodiversidad a nivel local.

En síntesis, el modelo de conectividad ecológica diseñado no solo permite representar la estructura física del territorio, sino que refleja la funcionalidad biológica del paisaje, constituyéndose en una herramienta estratégica para la conservación, restauración y manejo integral de la biodiversidad en Popayán.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda concentrar los esfuerzos de reforestación y manejo en las rondas de quebradas y márgenes de ríos, empleando especies nativas que contribuyan a la estabilización del suelo, control de erosión y mejora de la calidad hídrica. La recuperación de estas franjas garantizará la continuidad de los flujos ecológicos.

Los fragmentos de bosque identificados deben declararse áreas de conservación estratégica, implementando mecanismos de vigilancia comunitaria, incentivos para la conservación y prácticas productivas sostenibles (silvopastoreo, agroforestería, cercas vivas).

Establecer un sistema de seguimiento geoespacial y biológico que evalúe la eficacia del modelo a mediano y largo plazo, mediante indicadores como cobertura vegetal, diversidad de fauna, calidad del agua y conectividad funcional.

Promover procesos de co-gestión ambiental con las comunidades rurales, fortaleciendo la apropiación social del territorio mediante campañas de sensibilización, capacitación en restauración ecológica y acuerdos voluntarios de conservación.

Incorporar los corredores ecológicos y áreas prioritarias definidas por el modelo dentro de los instrumentos de planificación municipal (POT, EEP, POMCA), asegurando coherencia entre las políticas ambientales y el desarrollo urbano y rural.

Realizar estudios complementarios sobre composición florística, diversidad faunística, calidad de hábitat y conectividad funcional, que sirvan de soporte científico para la toma de decisiones y la implementación de futuras fases del modelo.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Popayán. (s.f.). *Nuestra geografía*.
<https://www.popayan.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Nuestra-Geografia.aspx>
- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64(4), 233–247. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00242-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00242-6)
- Bordino, J. (2022). *Conectividad ecológica*. EcologíaVerde.
<https://www.ecologiaverde.com/conectividad-ecologica-definicion-caracteristicas-e-importancia-3703.html>
- Cebrián-de-la-Serna, M., & Noguera-Valdemar, J. (2010). Conocimiento indígena sobre el medio ambiente y diseño de materiales educativos. *Comunicar*, 34, 114-125.
<https://doi.org/10.3916/C34-2010-03-11>
- CEPAL. (s.f.). *Daño y pérdida de biodiversidad*. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad-desarrollo-sostenible/dano-perdida-biodiversidad>
- Colorado Zuluaga, G. J., Vásquez Muñoz, J. L., Mazo Zuluaga, I. N., (2017), Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosques andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393.
<https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Concejo Municipal de Popayán. (2002, 5 de agosto). Acuerdo 06 de 2002: *Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Popayán*.
- Congreso de Colombia. (1959, diciembre 16). Ley 02 de 1959. *Por el cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables*.
- Congreso de Colombia. (1994, 9 de noviembre). Ley 165 de 1994. *Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992*.
- Congreso de Colombia. (1997, julio 18). Ley 388 de 1997. *Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones*.

- CRC, & Alcaldía de Popayán (2018). Protocolo De Intervencion Para El Manejo De Los Corredores Verdes De La Microcuencas Del Sector Urbano Del Municipio De Popayan, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021, marzo 1). *Información del DANE de Popayán*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210303-InfoDane-Popayan-Cauca.pdf>
- Delgado Pérez, J. F., & Pacheco Ortega, E. (2011). *Identificación del corredor biológico bosque alto andino – subcuenca media del río las piedras, vereda Quintana en el Municipio de Popayán – Departamento del Cauca* [Trabajo de grado pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio Institucional Unicauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/349>
- Escuela Superior de Administración Pública – ESAP, CDIM. (s.f.). Dimensión Ambiental. Municipio de Popayán – Plan de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico. Repositorio CDIM.
- ESRI. (2020). *¿Qué es ArcGIS? Plataforma de mapeo y análisis*. SIGSA Latinoamérica. <https://www.sigs.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview>
- Europa Press. (2018, marzo 9). *Este mapa identifica doce grandes corredores que emplean los animales para moverse por la península ibérica*. <https://www.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-mapa-identifica-doce-grandes-corredores-emplean-animales-moverse-peninsula-iberica-20180309175506.html>
- Federación Nacional de Cafeteros, Región Centro Café Popayán. (2023, 24 de noviembre). *Café de Cauca: Conformada por 43.000 familias cafeteras, destacada por su alta tecnificación y productividad*. <https://cauca.federaciondecafeteros.org/cafe-de-cauca/#:~:text=Conformada%20por%2043.000%20familias%20cafeteras,su%20alta%20tecnificaci%C3%B3n%20y%20productividad>
- García Quiroga, F., & Abad Soria, J. (2014). Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). *Observatorio Medioambiental*, 17, 253-298. https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2014.v17.47194

- Gallo Aponte, W. I. (2020). *Corredores verdes urbanos, una apuesta para la configuración de ciudades sostenibles*. Departamento de Derecho del Medio Ambiente y Tierras – Universidad del Externado. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/corredores-verdes-urbanos/>
- 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 (IDEAM). <https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/corine-land-cover>
- INECOL. (2020). *La pérdida de hábitat: causas y consecuencias*. Ciencia Hoy. <https://www.inecol.mx/index.php/divulgacion/ciencia-hoy/la-perdida-de-habitat-causas-y-consecuencias>
- La Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible. (1994, 10 de octubre). *La Alianza para el Desarrollo Sostenible: II. La Cumbre de las Américas. III. Evolución económica regional*
- La Presidencia de la República. (1974, 27 de enero). *Ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Diario Oficial No. 34243. Cancillería. https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/pdf/decreto_2811_1974.pdf
- McRae, B. H., & Kavanagh, D. M. (2011). Linkage Mapper connectivity analysis software. *The Nature Conservancy*. <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1523-1739.2011.01753.x>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). Resolución 196 de 2006. *Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia*.
- Morera-Beita, C., Sandoval-Murillo, L. F., & Alfaro-Alvarado, L. D. (2021). Assessment of biological corridors in Costa Rica: landscape structure and connectivity-fragmentation processes. *Revista Geográfica De América Central*, 1(66), 129-155. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.5>

Organización de los Estados Americanos (OEA) (1994). *Primera Cumbre de las Américas: Plan de Acción*.

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*.

Presidencia de la República de Colombia. (2010a, 1 de julio). Decreto 2372 de 2010. *Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones*.

Presidencia de la República de Colombia. (2010b, 25 de octubre). Decreto 3930 de 2010. *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones*.

Presidencia de la República de Colombia. (2011, 27 de septiembre). Decreto 3572 de 2011. *Por el cual se crea una Unidad Administrativa Especial y se determinan sus objetivos, estructura y funciones*.

Ramírez Chávez, H., Pérez, W., & Ramírez Mosquera, J. (2008). Mamíferos presentes en el municipio de Popayán, Cauca, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 12, 65–89.
<https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/5350>

Sánchez, F., Sánchez-Palomino, P., & Cadena, A. (2004). Inventario de mamíferos en un bosque de los andes centrales de Colombia. *Caldasia: Revista de biodiversidad tropical*, 26(1), 291-309.

Sistema de la Integración Centroamericana. (1993, octubre 29). *Convenio Regional para el Manejo y Conservación de los Ecosistemas Naturales Forestales y el Desarrollo de Plantaciones Forestales*. https://www.sica.int/documentos/convenio-regional-para-el-manejo-y-conservacion-de-los-ecosistemas-naturales-forestales-y-el-desarrollo-de-plantaciones-forestales_1_1232.html

- Sorgato, V. (2018). *Primer corredor de conectividad en Ecuador a punto de ser declarado*. Mongay. <https://es.mongabay.com/2018/08/ecuador-primer-corredor-de-conectividad-area-protegida/>
- Suárez-Parra, K. V., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1). <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/395>.
- Tamayo Gámez, J. J. (2014). *Evaluación de las estrategias participativas de los programas en conservación de reptiles: corredor biológico Meta - Bita - Orinoco en Puerto Carreño Vichada Colombia* [Trabajo de grado licenciatura, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional UNP. <https://repositorio.upn.edu.co/items/8191c7ba-00fb-4b69-a607-1605dedaaf8d>

Anexos

Anexo 1. Documento Excel cálculos matriz de fricción