

# **Análisis de la fragmentación y conectividad ecológica en el Humedal Torca- Guaymaral, Bogotá D.C. (Colombia)**

**Yulibey Caleño Ruiz**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

M.Sc. Omar Castrillón Osorio

Línea de Investigación en bioinformática

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, Año 2025

---

## Resumen

El Humedal Torca – Guaymaral conforma la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y la jurisdicción CAR, integra el conector ecosistémico Cerros Orientales, es catalogado Reserva Distrital de Humedal y humedal RAMSAR. Por la construcción de la Autopista Norte en el año 1950 se fragmento en tres sectores. Seguido de impactos por la ampliación de infraestructura y actividades agropecuarias. Se agregan los proyectos de infraestructura por desarrollar a futuro en su zona colindante y en el separador verde ubicado entre ambos carriles de la Autopista Norte. Por este motivo, se estableció el estado de fragmentación y conectividad ecológica del Humedal Torca- Guaymaral, para conocer los efectos de la expansión de la ciudad de Bogotá a lo largo del tiempo, ello para la toma de decisiones. Concedido esto, se desarrolló la interpretación de coberturas de la tierra a través de la Metodología CORINE Land Cover, seguido del cálculo de métricas de fragmentación y un análisis de conectividad ecológica que permitió identificar la calidad de hábitat, rutas de movimiento de las especies, posibles pasos de fauna, al igual que los impactos antrópicos de mayor relevancia. Destaca la alta fragmentación del paisaje en la actualidad y los cambios en coberturas seminaturales del año 2010 al 2024 por eventos naturales y antrópicos. En suma, estos humedales y las zonas colindantes conforman los principales corredores de movimiento para las especies *Synallaxis subpudica*, *Porphyriops melanops* y *Neomicroxus bogotensis*, conectando a los cerros orientales con la reserva Thomas van der Hammen.

**Palabras clave:** Humedal Torca – Guaymaral, fragmentación, conectividad, especies, coberturas, impactos.

---

## Abstract

The Torca – Guaymaral Wetland forms the Main Ecological Structure of Bogotá and the CAR jurisdiction, it integrates the Cerros Orientales ecosystem connector, it is classified as a District Wetland Reserve and a RAMSAR wetland. Due to the construction of the Autopista Norte in 1950, it was fragmented into three sectors. This was followed by impacts from the expansion of infrastructure and agricultural activities. The infrastructure projects to be developed in the future in its adjacent area and in the green separator located between both lanes of the Autopista Norte are added. For this reason, the state of fragmentation and ecological connectivity of the Torca-Guaymaral Wetland was established, to understand the effects of the expansion of the city of Bogotá over time, for decision-making. Once this was granted, the interpretation of land covers was developed through the CORINE Land Cover Methodology, followed by the calculation of fragmentation metrics and an analysis of ecological connectivity that allowed the identification of habitat quality, species movement routes, possible fauna passages, as well as the most relevant anthropogenic impacts. The high fragmentation of the landscape today and the changes in semi-natural covers from 2010 to 2024 due to natural and anthropogenic events stand out. In short, these wetlands and the surrounding areas make up the main movement corridors for the species *Synallaxis subpudica*, *Porphyriops melanops* and *Neomicroxus bogotensis*, connecting the eastern hills with the Thomas van der Hammen reserve.

**Keywords:** Torca – Guaymaral Wetland, fragmentation, connectivity, species, covers, impacts.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN .....	12
1.1 Descripción del área problemática .....	13
1.2 Formulación del problema .....	23
1.3 Justificación.....	26
2. OBJETIVOS .....	34
2.1 Objetivo general .....	34
2.2 Objetivos específicos.....	34
3. ANTECEDENTES .....	35
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL .....	51
5. REFERENTE TEÓRICO.....	54
6. METODOLOGÍA .....	65
6.1 Enfoque metodológico .....	65
6.2 Tipo de estudio .....	67
6.3 Procedimiento.....	68
6.3.2 Fase pre-campo .....	70
6.3.3 Fase de campo.....	82
6.3.4 Fase de análisis .....	84

---

7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	96
7.1	Coberturas de la tierra .....	96
7.2	Fragmentación.....	107
7.2.2	Métricas de composición .....	107
7.2.3	Métricas de borde.....	118
7.2.4	Métricas de forma .....	123
7.2.5	Métrica de fragmentación .....	127
7.2.6	Métricas de paisaje.....	131
7.3	Conectividad ecológica .....	136
7.3.2	Conectividad estructural .....	137
7.3.3	Conectividad funcional .....	146
8.	CONCLUSIONES .....	178
8.1	Fragmentación.....	178
8.2	Conectividad funcional .....	186
9.	RECOMENDACIONES.....	189
10.	REFERENCIAS.....	191

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Estructura Ecológica Principal de Bogotá</i> .....	16
Figura 2 <i>Área de estudio</i> .....	22
Figura 3 <i>Elementos integradores del Conector ecosistémico Cerros Orientales Río Bogotá</i> .....	27
Figura 3 <i>Área de estudio, criterios delimitadores y Estructura Ecológica Principal</i> .....	72
Figura 4 <i>Ortofoto proyecto Lagos de Torca</i> .....	75
Figura 5 <i>Imagen satelital GeoSpatial (Año 2021)</i> .....	76
Figura 6 <i>Imagen satelital empleada para la interpretación de coberturas en el año 2010</i> .....	77
Figura 7 <i>Imagen satelital empleada para la interpretación de coberturas en el año 2024</i> .....	78
Figura 8 <i>Resultados recorrido campo con herramienta Avenza maps relacionando los puntos de registro fotográfico</i> .....	83
Figura 11 <i>Coberturas de la tierra en el año 2010</i> .....	105
Figura 12 <i>Coberturas de la tierra en el año 2024</i> .....	106
Figura 13 <i>Calidad de hábitat <i>Synallaxis subpudica</i></i> .....	153
Figura 14 <i>Corredores movimiento <i>Synallaxis subpudica</i></i> .....	154
Figura 15 <i>Calidad de hábitat <i>Neomicroxus bogotensis</i></i> .....	162
Figura 16 <i>Corredores movimiento <i>Neomicroxus bogotensis</i></i> .....	163

Figura 17 Calidad de hábitat <i>Porphyriops melanops</i> .....	170
Figura 18 Corredores de movimiento <i>Porphyriops melanops</i> .....	171
Figura 19 Áreas prioritarias para la instalación de pasos de fauna en el corredor de la autopista norte y zonas colindantes al humedal.....	175
Figura 20 Distribución de pasos de fauna en cruce de vías proyectadas.....	176

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Normatividad aplicable al ecosistema de humedal Torca -Guaymaral .....	51
Tabla 2 Área mínima cartografiable para distintas escalas.....	86
Tabla 3 Metodologías más empleadas en modelación de conectividad y nicho.....	92
Tabla 4 Descripción de las métricas de composición (sección 1).....	110
Tabla 5 Métricas de composición (sección 1).....	110
Tabla 6 Descripción de las métricas de composición (sección 2).....	113
Tabla 7 Métricas de composición (sección 2).....	114
Tabla 8 Descripción de las métricas de composición (sección 3).....	116
Tabla 9 Métricas de composición (sección 3).....	117
Tabla 10 Descripción de las métricas de efecto de borde .....	121
Tabla 11 Efecto de borde y área núcleo .....	121
Tabla 12 Descripción de las métricas de forma .....	125
Tabla 13 Métricas de forma.....	126

Tabla 14 <i>Índice de tamaño efectivo de malla (MESH) en el nivel de clase y paisaje ....</i>	130
Tabla 15 <i>Descripción de las métricas de diversidad del paisaje.....</i>	134
Tabla 16 <i>Métricas a nivel de paisaje .....</i>	135
Tabla 17 <i>Descripción de las métricas de configuración .....</i>	141
Tabla 18 <i>Métricas de configuración.....</i>	142
Tabla 19 <i>Pasos de fauna según normativa del año 2019 .....</i>	177

## Lista de graficas

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1 <i>Área de la clase/Área total .....</i>	111
Gráfica 2 <i>Porcentaje del paisaje.....</i>	111
Gráfica 3 <i>Número de parches .....</i>	111
Gráfica 4 <i>Densidad de parches.....</i>	114
Gráfica 5 <i>Índice del fragmento más grande .....</i>	114
Gráfica 6 <i>Total de borde .....</i>	115
Gráfica 7 <i>Densidad de borde .....</i>	117
Gráfica 8 <i>Área promedio del fragmento .....</i>	117
Gráfica 9 <i>Área núcleo total.....</i>	122
Gráfica 10 <i>Área núcleo promedio.....</i>	122
Gráfica 11 <i>Índice de área núcleo.....</i>	122
Gráfica 12 <i>Índice de forma .....</i>	126

Gráfica 13 <i>Índice de dimensión fractal</i> .....	126
Gráfica 14 <i>Radio de giro</i> .....	127
Gráfica 15 <i>Índice de tamaño efectivo de malla para las coberturas</i> .....	131
Gráfica 16 <i>Índice de proximidad</i> .....	142
Gráfica 17 <i>Distancia euclidiana al vecino más cercano</i> .....	142
Gráfica 18 <i>Conectividad coberturas actuales</i> .....	144
Gráfica 19 <i>Zonas verdes urbanas</i> .....	145
Gráfica 20 <i>Vegetación secundaria alta</i> .....	145
Gráfica 21 <i>Vegetación secundaria baja</i> .....	145
Gráfica 22 <i>Plantación forestal</i> .....	145
Gráfica 23 <i>Pastos arbolados</i> .....	146
Gráfica 24 <i>Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas</i> .....	146

## Lista de ilustraciones

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1 <i>Representación del cambio temporal en la composición y configuración del paisaje atribuible a la fragmentación de hábitats, desde un hábitat original hacia un hábitat fragmentado</i> .....	55
Ilustración 2 <i>Representación del proceso de fragmentación como pérdida de continuidad (Lord y Norton 1990)</i> .....	57
Ilustración 3 <i>Escenarios de fragmentación a distintas escalas a partir de un mismo hábitat original</i> .....	58

Ilustración 4 <i>Relación entre la conectividad espacial y funcional según la movilidad de las especies asociadas al hábitat fragmentado</i> .....	62
Ilustración 5 <i>Fases de la investigación</i> .....	69
Ilustración 6 <i>Proceso de obtención de información secundaria</i> .....	81
Ilustración 7 <i>Entidades que suministraron información</i> .....	81

## Lista de fotografías

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1 <i>Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá</i> .....	15
Fotografía 2 <i>Humedal de Torca</i> .....	20
Fotografía 3 <i>Humedal de Guaymaral</i> .....	20
Fotografía 4 <i>Parque Guaymaral sector Suba</i> .....	21
Fotografía 5 <i>Parque Guaymaral sector Usaquén</i> .....	21
Fotografía 6 <i>Pastos arbolados</i> .....	99
Fotografía 7 <i>Vegetación secundaria alta</i> .....	99
Fotografía 8 <i>Zonas verdes urbanas</i> .....	99
Fotografía 9 <i>Zonas pantanosas</i> .....	100
Fotografía 10 <i>Plantación forestal</i> .....	100
Fotografía 11 <i>Pastos arbolados</i> .....	100
Fotografía 12 <i>Vegetación secundaria baja</i> .....	100
Fotografía 13 <i>Tejido urbano discontinuo</i> .....	101

---

Fotografía 14 <i>Zonas industriales o comerciales (Colegios y universidades)</i> .....	101
Fotografía 15 <i>Pastos limpios</i> .....	101
Fotografía 16 <i>Vegetación acuática sobre cuerpos de agua</i> .....	101
Fotografía 17 <i>Zonas industriales y comerciales</i> .....	102
Fotografía 18 <i>Lagunas, lagos y ciénagas naturales</i> .....	102
Fotografía 19 <i>Canal Guaymaral</i> .....	102
Fotografía 20 <i>Pastos enmalezados</i> .....	102
Fotografía 21 <i>Instalaciones recreativas</i> .....	103
Fotografía 22 <i>Instalaciones recreativas</i> .....	103
Fotografía 23 <i>Cuerpos de agua artificiales</i> .....	103
Fotografía 24 <i>Red ferroviaria y territorios asociados</i> .....	103
Fotografía 25 <i>Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas</i> .....	104
Fotografía 26 <i>Mosaico de cultivos</i> .....	104
Fotografía 27 <i>Parques cementerio</i> .....	104
Fotografía 28 <i>Tejido urbano continuo</i> .....	104
Fotografía 29 <i>Zonas verdes urbanas (Zvu) – Remanentes del humedal en el corredor de la autopista norte</i> .....	108
Fotografía 30 <i>Synallaxis subpudica</i> (Pijuí de Cundinamarca) .....	149
Fotografía 31 <i>Neomicroxus bogotensis</i> (Ratón arrocero) .....	155
Fotografía 32 <i>Porphyriops melanops</i> .....	165

---

# 1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

Se pretende investigar el Humedal Torca – Guaymaral junto con su área colindante debido a su importancia en la conectividad ecológica y hábitat de especies en el ámbito urbano de la ciudad de Bogotá, además tomando como precedente que este ha sido ampliamente transformado a lo largo del tiempo, en primera instancia, por la construcción de la Autopista Norte, seguido de la ampliación de la infraestructura industrial, el comercio y vivienda, además de la canalización de los afluentes que lo alimentan y la contaminación de estos.

Se suma la proyección de construcción de infraestructuras que amenazan su integridad, como es el caso de la ampliación de la Autopista Norte para dar cabida a dos carriles adicionales a los costados de la vía existente, se agrega la construcción del proyecto de vivienda Lagos de Torca en sus alrededores y la ampliación del sistema de servicios públicos de agua y energía en la zona intermedia de ambos carriles, correspondiente a un corredor verde que aún presenta zonas de humedal y arbolado urbano.

De esta manera, se pretende conocer la transformación del Humedal Torca – Guaymaral en los últimos años a través de un análisis multitemporal de coberturas, identificando impactos por fragmentación y conectividad ecológica, ello a través del análisis de imágenes satelitales e interpretación de coberturas de la tierra por medio de la metodología CORINE Land Cover que, permitan identificar patrones de cambio en escala temporal y en adición evaluar las condiciones actuales del humedal en términos de la conectividad ecológica y corredores de movimiento para

las especies de fauna, al igual que el grado de transformación en sus alrededores, dados por ampliación de la frontera agropecuaria e infraestructura.

Así, este estudio permitirá conocer el estado del humedal previo a la construcción de estos megaproyectos de infraestructura para servir como referente para la formulación de medidas de manejo en un escenario futuro, así como estimar los cambios en sus alrededores y en su zona de espejo de agua a lo largo del tiempo. De acuerdo con ello, en numerales posteriores se presenta el planteamiento del problema de investigación, el cual se enmarca en la descripción del área problemática, la formulación del problema o pregunta de investigación y su justificación.

## **1.1 Descripción del área problemática**

En términos geográficos los Humedales de Torca y Guaymaral se ubican en el nororiente de la planicie de inundación del río Bogotá, puntualmente en el valle de alta montaña aproximadamente a 2600 m de altura, reconocido como la Sabana de Bogotá. Este complejo forma parte de los diecisiete (17) humedales acogidos por el Plan de Ordenamiento Territorial – POT de Bogotá (Decreto 555 Del 29 de Diciembre 2021. Por El Cual Se Adopta La Revisión General Del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., 2021), siendo catalogados como sistemas socio ecológicos y geográficos que resaltan por su funcionalidad ecosistémica, aportan a la conservación del hábitat de especies y poblaciones de fauna de la ciudad (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

En adición, se designa dentro del listado de los once (11) humedales que conforman el Sitio Ramsar Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá, designado mediante el Decreto 1468 DeL 06 Agosto de 2018 "Por El Cual Se Adiciona Una Sección Al Decreto 1076 de 2015, Con El Fin de Designar Al Complejo de Humedales Urbanos Del Distrito Capital de Bogotá Para Ser Incluido En La Lista de Humedales de Importancia Internacional".

Estos humedales Torca y Guaymaral han sido reconocidos como unos de los complejos de la ciudad con mayor potencial de restauración ecológica, al sostener una dinámica hídrica constante, dados por la cercanía con los Cerros Orientales, puntualmente con la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (Ver Fotografía 1 y Figura 1), por ende, la influencia de quebradas que provienen de este sistema montañoso (Díaz et al, 2010; Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Destaca además su cercanía con la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá Thomas Van der Hammen hacia el sector occidental y por formar parte de la Estructura Ecológica Principal (EEP) de la jurisdicción CAR (Ver Figura 1). Paralelamente, al ser designado como un humedal de planicie de inundación de un sistema ripario (DAMA, 2006; Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b), contribuye al mantenimiento de las dinámicas hídricas de recarga y retorno de aguas en épocas de picos de precipitación en la zona, al tratarse de ecosistemas que se desarrollan en paisajes fluviolacustres del plano inundable del río Bogotá y su comportamiento está ligado con los ciclos hidroclimáticos anuales y multianuales.

**Fotografía 1** Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá



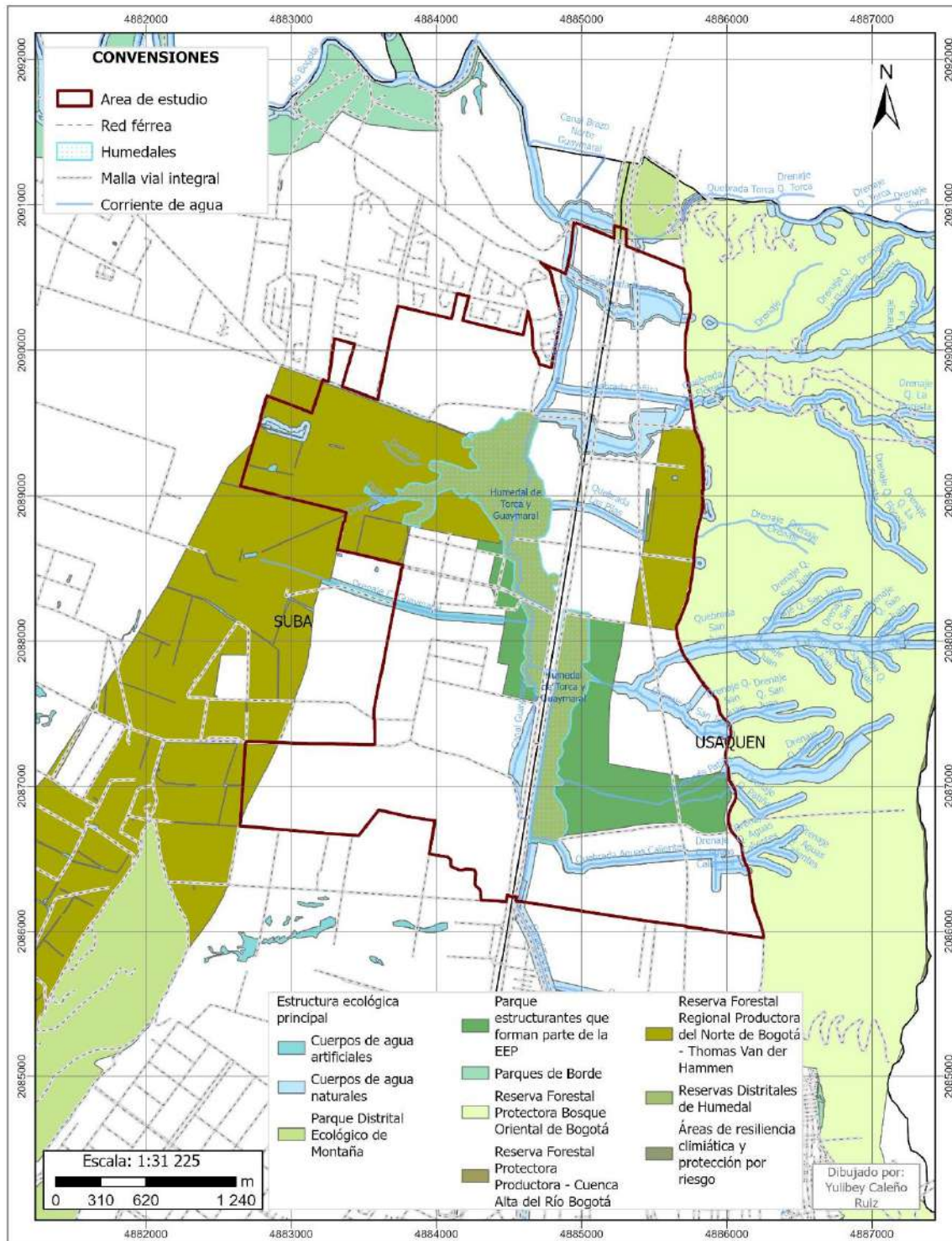
*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885404,18 N 2087204,62*

*Altura: 2554,83 msnm Fecha: 2023-05-13*

*Fuente: el autor*

Figura 1 Estructura Ecológica Principal de Bogotá



Fuente: elaboración propia

---

Estos aspectos los catalogan como ecosistemas anfibios en los cuales la fase terrestre y la fase acuática no tienen límites precisos y varían “espacialmente” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b). Lo anterior sustenta que la dinámica hídrica y ecosistémica del humedal Torca y Guaymaral está vinculada con una condición biofísica del paisaje, donde su dinámica se extiende a una mayor área de la reportada por los límites administrativos o legales, al depender del aporte de aguas lluvias y de las quebradas asociadas históricamente al ecosistema acuático, así como de los pasos canalizados de éstas aguas por el territorio, resultado de la transformación del mismo, producto de la urbanización y extensión de la ciudad hacia su borde norte (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

En la escala temporal, las dinámicas antrópicas de la zona han generado un proceso de transformación del paisaje, que ha conllevado a la reducción paulatina de los espejos de agua del Humedal Torca y Guaymaral, dados por la implementación de suelos de relleno, la canalización de afluentes y desviación de quebradas, lo que redujo la capacidad amortiguadora del sistema ante la dinámica hidrológica del territorio y promovió el aumento del riesgo por inundación en esta área (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Pese a ello, este humedal aún cuenta con espejos de agua y parches de vegetación que estimulan el uso de los diversos hábitats por parte de la fauna urbana, inclusive por especies

migratorias. Al igual, es un área de gran importancia al promover la conectividad ecológica del paisaje, entre los Cerros Orientales y la planicie del río Bogotá, junto con los demás elementos de la Estructura Ecológica Principal (EEP) reconocidos para la zona norte de Bogotá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b; Remolina-Angarita, 2006), tal como puede apreciarse en la Figura 1.

Por su parte, el Sistema Distrital de Áreas Protegidas corresponde al *“conjunto de áreas que por sus condiciones biofísicas y culturales pueden aportar a la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos a nivel regional y local, por lo que deben implementarse medidas de manejo que permitan asegurar la continuidad de los procesos que mantienen la diversidad biológica, garantizar la oferta de bienes y servicios ambientales esenciales para el bienestar humano y garantizar la permanencia del medio natural o de algunos de sus componentes, esto como fundamento para el mantenimiento de la diversidad cultural del distrito”* (Decreto 555 Del 29 de Diciembre 2021. Por El Cual Se Adopta La Revisión General Del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., 2021).

Estas áreas son administradas por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), entidad encargada de formular y adoptar mediante acto administrativo los respectivos Planes de Manejo Ambiental. Dentro de estas categorías se encuentran los **Paisajes sostenibles, Parques Distritales de Montaña** (Cerro de Torca) y **Reservas distritales de humedal**, puntualmente la Reserva Distrital Humedal de Torca y Guaymaral (Ver Figura 1) que en su conjunto forman parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá.

---

Así las cosas, el Artículo 55 que relaciona las Reservas Distritales de Humedal, definidas como áreas de importancia por su funcionalidad ecosistémica debido a que aportan a la conservación del hábitat tanto de especies como de poblaciones, por tal motivo, en esta categoría se enmarca el Humedal Torca y Guaymaral.

Ciertamente, estas áreas se constituyen como unidad ecológica de manejo, compuesta por la franja acuática, litoral y terrestre. Dentro de estas zonas se incorporan aquellas que han sido designadas como sitios de importancia RAMSAR, tal como ocurre con el Humedal Torca-Guaymaral que igualmente forma parte del sistema hídrico de la Estructura Ecológica Principal (EEP) de Bogotá.

Al igual, se encuentra reglamentado y zonificado conforme con su plan de manejo actualizado por medio de la Resolución Conjunta CAR - SDA N° 029 del 08 de febrero de 2023 que, en su Artículo 2 se refiere al ordenamiento y se relaciona la zonificación que incluye la Zona de preservación y protección ambiental, Zona de recuperación ambiental y Zona de uso sostenible, al igual que el régimen de usos (Resolución Conjunta CAR - SDA No.° 029 Del 8 Febrero 2023 "Por La Cual Se Aprueba La Actualización Del Plan de Manejo Ambiental de Las Reservas Distritales de Humedal de Torca y Guaymaral Declarados Como Área Protegida Distrital y Se Adoptan Otras Determi, 2023). Es así como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la SDA son las encargadas de administrar y regular estos humedales.

**Fotografía 2** *Humedal de Torca*

*Localidad: Usaquén - Barrio: Tibabita rural*

*Coordenadas: E 4884814,243 N 2086619,718*

*Altura: 2557,43 msnm Fecha: 2023-05-15*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 3** *Humedal de Guaymaral*

*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba*

*Coordenadas: E 4884456,87 N 2089027,13*

*Altura: 2548,14msnm Fecha: 2023-05-12*

*Fuente: el autor*

Paralelamente, el Humedal Guaymaral se encuentra en el Parque Metropolitano de Guaymaral sector Suba (Ver Fotografía 4), mientras que el Humedal Torca se localiza en el Parque Metropolitano de Guaymaral sector Usaquén (Fotografía 5) que forman parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá, siendo establecido en el año 2019 con alrededor de 150 hectáreas, contando el 75% del cuerpo de agua, pensado en brindar a las personas espacios verdes para la recreación activa y pasiva y que además, genere conectividad entre los Cerros Orientales y el Humedal, considerado como el parque más grande de la ciudad y que además, está conectado con el proyecto Lagos de Torca (Decreto 555 Del 29 de Diciembre 2021. Por El Cual Se Adopta La Revisión General Del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., 2021).

Es por ello que el área de estudio elegida vincula no solamente el área de estos humedales sino la distribución de ambos parques estructurantes y los predios que los involucran, ver Figura 2.

**Fotografía 4** Parque Guaymaral sector Suba



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba Urbano*

*Coordenadas: E 4884564,23 N 2088028,64*

*Altura: 2557,43 msnm Fecha: 2023-05-17*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 5** Parque Guaymaral sector Usaquén



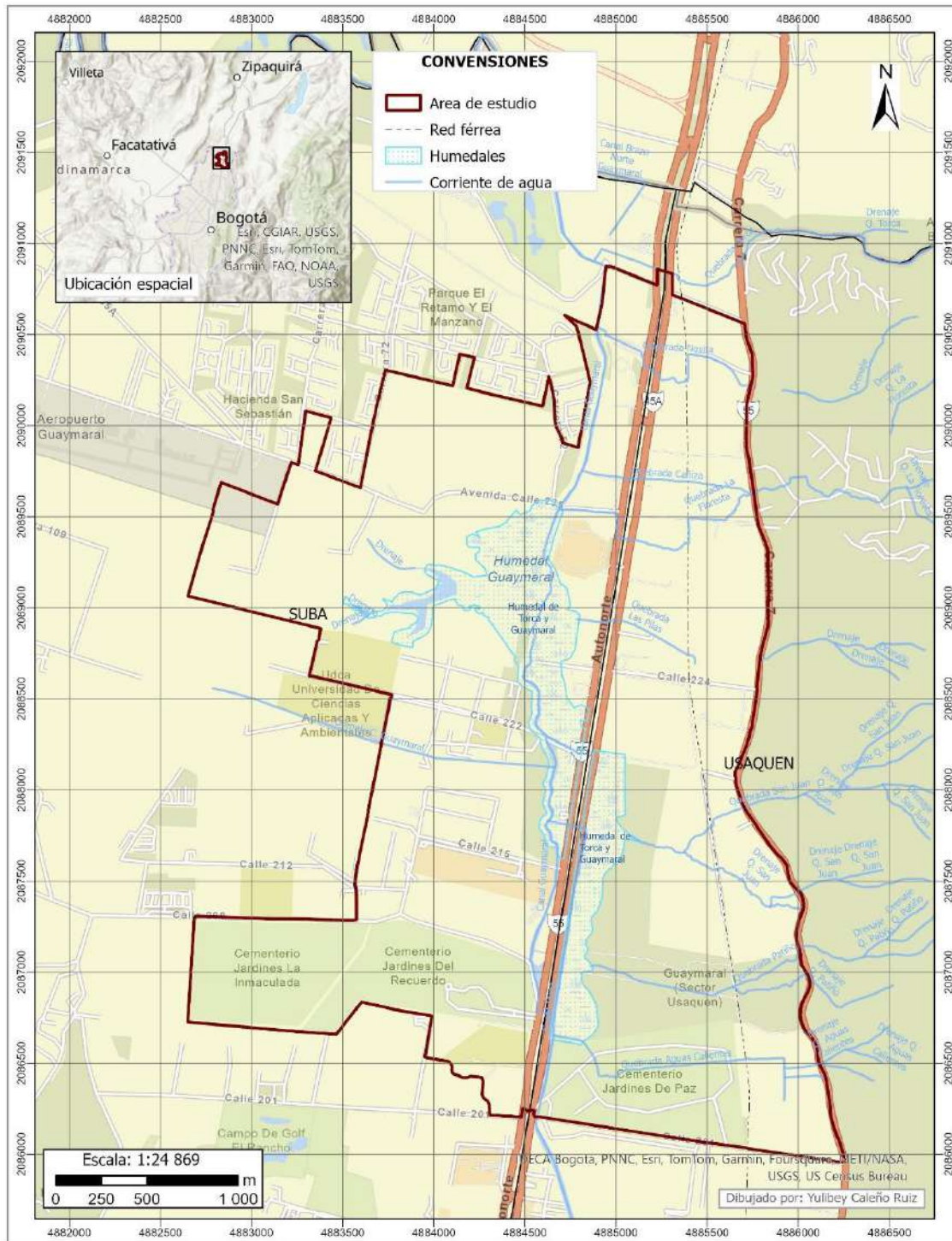
*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884817,32 N 2087727,03*

*Altura: 2548,14 msnm Fecha: 2023-05-15*

*Fuente: el autor*

Figura 2 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

## 1.2 Formulación del problema

El Humedal Torca - Guaymaral ha enfrentado a lo largo del tiempo serios impactos como resultado de la expansión de la ciudad de Bogotá en su borde norte, en particular por la construcción de la Autopista Norte que fragmentó este ecosistema dejándolo dividido en tres (3) sectores, uno correspondiente al Humedal Torca, el otro denominado el Humedal Guaymaral y un corredor verde intermedio (Ver Figura 2), siendo esta vía ubicada entre ambos ecosistemas como una barrera para la conectividad ecológica de las especies de fauna, al igual que el sistema hídrico, pese a las obras hidráulicas construidas en los tramos de vía (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Unos de los principales hallazgos es el constante atropellamiento de especies de fauna en la vía, seguido de la fragmentación del Humedal que dejó algunos relictos húmedos en el corredor verde que se localiza entre ambos carriles. Se suma a ello la contaminación de los afluentes que los alimentan dados por las actividades domésticas y se agrega canalización por la empresa de acueducto de Bogotá. Se suma la ampliación de la infraestructura de vivienda, universidades, colegios, zonas industriales, comerciales, cementerios, centros comerciales, actividades agropecuarias, zonas recreacionales y deportivas, la construcción de la vía férrea que se desarrollaron a lo largo del tiempo.

Se añaden las actividades agropecuarias que se han realizado en la zona a lo largo del

---

tiempo en las fincas colindantes con el predio, las cuales son potenciales fuentes de contaminantes por llegada de agroquímicos y estiércol que son potenciales fuentes de contaminación.

Es probable que todas estas actividades han generado cambios de la zona colindante de estos humedales y su espejo de agua, estimándose la fragmentación y la reducción de conectividad ecológica del humedal con el transcurso del tiempo. Por lo que se hace importante su estudio, a través de análisis de imágenes satelitales y patrones de cambio de las coberturas.

Se agrega que además de las precitadas condiciones, se proyecta la construcción de obras de infraestructura y servicios como es el caso del proyecto de vivienda Lagos de Torca en su zona colindante, al igual la ampliación de la Autopista Norte con dos carriles adicionales y la construcción de líneas de transmisión energía de alta tensión y redes de acueducto en el corredor verde remanente que se localiza entre ambos carriles, actividades que ponen en riesgo la integralidad del Humedal Torca – Guaymaral, siendo de importancia analizar su estado de transformación a lo largo del tiempo, así como estimar las condiciones de fragmentación y conectividad ecológica en la actualidad, con el fin de contar un estudio base que fundamente la toma de decisiones y formulación de medidas de manejo por parte de la CAR y la SDA en un escenario futuro, garantizando así el retorno a las condiciones originales del ecosistema.

De esta manera, este estudio brindara información del estado actual del ecosistema en términos de fragmentación y conectividad ecológica, así como los principales cambios a lo largo del tiempo, ello para ser comparables frente a las condiciones de alteración por los proyectos de

infraestructura que se van a construir, y dependiendo de tales resultados se pueda proceder con la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales, en términos de medidas regulatorias y sancionatorias que sean correspondientes.

Contando así con estudios detallados de las condiciones de estos humedales previo al desarrollo de estos proyectos que, permitan brindar una base para el seguimiento, monitoreo, control e incluso la imposición de sanciones en caso de no darse cumplimiento a lo reglamentado en el Plan de Ordenamiento Territorial - Bogotá verdece 2022-2035 a través del Decreto 555 del 2021 *“Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.”* y en suma el Decreto 088 de 2017 (marzo 03) *“Por medio del cual se establecen las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - “Ciudad Lagos de Torca” y se dictan otras disposiciones”* de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. del proyecto Lagos de Torca.

Siendo los anteriores aquellos instrumentos de manejo y reglamentación frente a los usos de estos ecosistemas de humedal, en términos de las normas urbanísticas, límites de la Estructura Ecológica Principal, zonas duras y blandas, manejo paisajístico, régimen de usos prohibidos o condicionados, entre otros aspectos que garantizan la protección esta Reserva Distrital de Humedal que, al igual forma parte de las zonas RAMSAR y la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. Es por ello que se presente a través de este trabajo de investigación resolver la pregunta:

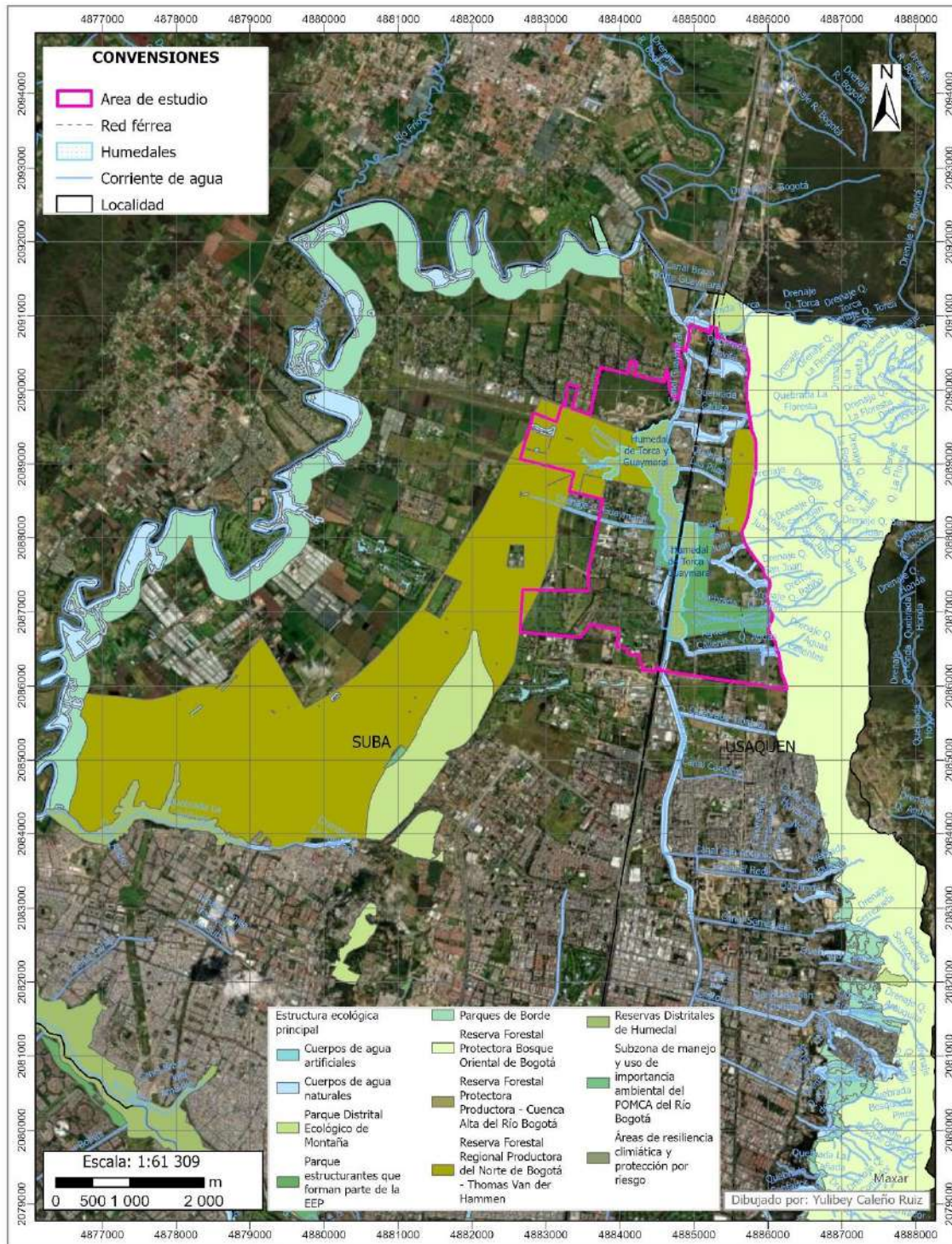
¿Cuál ha sido el cambio del Humedal Torca – Guaymaral en los últimos 14 años como resultado de la expansión de la ciudad de Bogotá?

### 1.3 Justificación

Las principales motivaciones para el desarrollo de este estudio son que los humedales Torca – Guaymaral constituyen unos de los complejos ambientales de mayor relevancia para la Ciudad de Bogotá al albergar hábitat para especies de fauna, en especial aves (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b). También por tratarse de un ecosistema estratégico que ha sido catalogado como uno de los principales conectores entre la planicie de inundación del río Bogotá y los Cerros Orientales, puntualmente con la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

Al igual, por ser declarado como parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y zona RAMSAR, formando parte del Conector ecosistémico Cerros Orientales Río Bogotá que reúne tanto el sistema hídrico, las áreas de conservación (Reserva Forestal Productora Thomas Van der Hammen), los parques estructurantes, el Cerro de Torca y el sistema distrital de áreas protegidas (Reserva Distrital de Humedal Torca y Guaymaral), siendo elementos integradores que aportan en las estrategias de conectividad del sector (Ver Figura 3).

Figura 3 Elementos integradores del Conector ecosistémico Cerros Orientales Río Bogotá



Fuente: Elaboración propia

---

Es cierto que en el artículo 11 del POT se plantea que los conectores ecosistémicos son una *“estrategia de conectividad transversal que articula las tres escalas del modelo de ocupación del territorio, los conectores ecosistémicos que están conformados por elementos de la Estructura Ecológica Principal y otras áreas que, por sus condiciones ambientalmente estratégicas, tienen características para conectar los atributos ecológicos del territorio urbano y rural del Distrito Capital y la región, y fortalecer la gestión socioambiental.*

*Su propósito está orientado a la gestión, manejo y consolidación de la diversidad biológica y los procesos ecológicos, incremento de la conectividad de los ecosistemas, paisajes, el aumento de la permeabilidad y coberturas vegetales verdes en el Distrito Capital y la recuperación ambiental de los corredores hídricos, a través de acciones incluidas en el contenido programático del Plan de Ordenamiento Territorial. Su manejo y gestión se soporta en las siguientes acciones:*

- 1. La protección de áreas con importancia para la conectividad hídrica de ecosistemas.*
- 2. El mejoramiento de la conectividad ecológica estructural y funcional y de los flujos de biodiversidad con los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP del Distrito Capital y la Región.*
- 3. La consolidación de la apropiación socioambiental del territorio y fortalecimiento de la gobernanza ambiental de las entidades y la comunidad”.*

De otra parte, se cita en el Parágrafo 2. *“La consolidación de los conectores ecosistémicos se implementará a través del contenido programático del presente Plan, mediante proyectos estructurantes y metas asociadas a hectáreas con coberturas vegetales con procesos de restauración ecológica, protección y recuperación de la permeabilidad del suelo y áreas endurecidas, sin que se modifiquen los usos permitidos ya establecidos”* (Decreto 555 Del 29 de Diciembre 2021. Por El Cual Se Adopta La Revisión General Del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., 2021).

Dentro de esta categoría de conectores ecosistémicos se encuentra el Conector ecosistémico Cerros Orientales del Río Bogotá que en algunas de sus zonas hace parte de la Estructura Ecológica Principal ya que, como se menciona en el parágrafo 1, *“los conectores ecosistémicos no hacen parte de la EEP, ni constituyen afectación o suelo de protección, salvo cuando se traslapen con áreas de la EEP en los términos del artículo “Definición de la Estructura Ecológica Principal – EEP”*. Por tanto, prevalecen los usos definidos para cada uno de los elementos de la Estructura Ecológica Principal - EEP con los que se traslapa el área de estudio.

Ahora es oportuno indicar que el Artículo 566 del mencionado decreto, establece el programa *“Conectividad ecosistémica, reverdecimiento y atención de la emergencia climática”*, en el marco del cual, se definen los seis conectores ecosistémicos a conformar como proyectos estructurantes de este programa. Puntualmente se delimita el conector ecosistémico Bosque Oriental – río Bogotá o también denominado conector ecosistémico Cerros Orientales del Río Bogotá que busca proteger la estructura ecológica principal, los paisajes bogotanos y generar una

relación más armoniosa y sostenible de la ciudad con su entorno rural, también pretende mejorar el ambiente urbano y rural, incrementar la capacidad de resiliencia del territorio frente a la ocurrencia de desastres, mejorar el entorno de vida y el bienestar de los ciudadanos.

Este contiene el Subprograma de protección a los elementos de importancia ambiental con el proyecto estructurante “*Conformación Conector Bosque Oriental - Río Bogotá. Conformación de las 1.881,14 ha del Conector Bosque Oriental - Río Bogotá, en la UPL Torca mediante la recuperación y restauración de coberturas en los componentes del conector*”.

Siendo así, los Humedales Torca y Guaymaral parte de este conector ecosistémico, como estrategia para la conectividad ecológica de la ciudad, especialmente entre las áreas protegidas mencionadas. De esta manera, se investiga la función o potencial de conectividad ecológica de estos humedales debido al escaso conocimiento del estado actual, así como los cambios que han enfrentado a lo largo del tiempo como resultado del crecimiento de la ciudad.

Es de resaltar que en el Humedal Torca – Guaymaral no se han realizado estudios bajo las metodologías aquí planteadas, siendo disponibles únicamente los análisis de fragmentación y conectividad para el área delimitada como humedal por la CAR y la SDA, bajo otros parámetros de análisis (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b), sin contarse con información sobre los cambios en los alrededores del humedal en términos de coberturas vegetales, corredores de movimiento de las especies de interés para la conservación de la ciudad y del humedal, así como los mapas de calidad de hábitat y rutas de movimiento entre los Cerros Orientales, la Reserva Forestal Regional Productora del

---

Norte de Bogotá Thomas van der Hammen y la planicie de inundación del río Bogotá.

Los beneficios de este estudio son conocer los principales motores de cambio del Humedal Torca – Guaymaral en los últimos años, brindando información clara y precisa sobre las coberturas de la tierra que surtieron afectaciones relevantes en cada uno de los periodos analizados enfocados a las actividades y condiciones de ocupación propias de la zona. También se contará con información sobre las condiciones actuales de ambos humedales en términos de su potencial de conectividad ecológica y corredores de movimiento disponibles para las especies de fauna, así como la modelación de rutas de movimiento que pueden ser viabilizadas a través de las estrategias de manejo que deben cumplir los proyectos de infraestructura en el marco de la conservación del humedal y que se encuentran detallados en el Decreto 555 y Decreto 088 de 2017.

Es así como este estudio brinda información sobre el estado de fragmentación y conectividad ecológica de los humedales y su zona colindante en la actualidad, la cual sería un insumo base para la toma de decisiones por parte de la SDA y la CAR en términos de garantizar el cumplimiento de las medidas de manejo que deben cumplir los proyectos de infraestructura como el caso de las compensaciones ambientales, las medidas de manejo de impactos, los diseños de zonas verdes y preservación de las zonas de la Estructura Ecológica Principal, así como las adecuaciones del parque estructurante Guaymaral sector Suba y Usaquéen por parte del proyecto Lagos de Torca, reglamentados a través del Decreto 555 y Decreto 088 de 2017.

Es de agregar que los habitantes de los predios colindantes con el humedal pueden

---

consultar este estudio para conocer el estado del humedal previo al desarrollo de dichos proyectos y así mismo conocer el patrón de cambio que han sostenido a lo largo del tiempo con miras a exigir a los entes ambientales la preservación de estas áreas de interés para la ciudad y el medio ambiente que los rodea.

Es necesario desarrollar este estudio en función de garantizar que los elementos de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá cuenten con el análisis de su potencial de conectividad ecológica en la actualidad para conocer su capacidad de conexión entre los Cerros Orientales y la planicie de inundación del río Bogotá, la cual fue una de las principales metas al momento de delimitar y declarar estos humedales como parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá.

Es así como este estudio identifica si realmente esta función como corredor de fauna aún prevalece pese a las transformaciones que se han desarrollado a lo largo del tiempo. Ello también debido que a pesar que formar parte de la EEP de la ciudad, no se han desarrollado estudios de este tipo en los alrededores del humedal, y pese a que en el plan de manejo de estos humedales se presente la información de coberturas de la tierra, esta información solamente se cuenta para el área puntual del humedal, si detallarse el estado de los alrededores de ellos ni los análisis de conectividad ecológica encaminados al estudio de especies de interés para la conservación de la fauna urbana, así como no se cuenta con modelos de movimiento de la fauna a través de estos elementos de la Estructura Ecológica Principal.

Este estudio brinda una nueva perspectiva de investigación sobre los análisis multitemporales y conectividad ecológica empleando escalas de interpretación de coberturas a

---

una escala detallada (1:5000), junto con la estimación de la conectividad ecológica a partir del análisis de los requerimientos de la fauna de importancia para la conservación así como los corredores de movimiento que utilizan, siendo importantes para la toma de decisiones por las autoridades ambientales y los proyectos de infraestructura que se pretenden realizar a futuro, ello para garantizar el retorno a su condición inicial y garantizar su conservación.

Al igual sirven como insumos para las estrategias de manejo a través de su consideración durante construcción de corredores o pasos de fauna que mitiguen los atropellamientos en las vías y que puedan verse afectados por el desarrollo de estos proyectos futuros, ello a través de la identificación de estas rutas de movimiento de las especies analizadas.

---

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Analizar la fragmentación y conectividad ecológica en el Humedal Torca- Guaymaral, entre el año 2010 y 2024.

### 2.2 Objetivos específicos

Realizar la interpretación de coberturas de la tierra a partir de imágenes satelitales del año 2010 y 2024.

Calcular métricas de parche, clase y paisaje para establecer el grado de fragmentación en las temporalidades analizadas.

Realizar modelos de calidad de hábitat o resistencias que permitan definir las rutas de movimiento de las especies de fauna de interés para la conservación.

Identificar los corredores de movimiento o pasos de fauna de mayor relevancia para las especies *Synallaxis subpudica* (Pijuí de Cundinamarca), *Porphyriops melanops* (Polla sabanera) y *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero).

### 3. Antecedentes

Recientemente se ha mapeado la distribución global de los fragmentos de bosque y sus cambios temporales entre el año 2000 y 2020, identificando que los paisajes de los trópicos se encontraban relativamente intactos hace algunos años, sin embargo, estas áreas experimentaron la fragmentación más severa en las últimas dos décadas. En contraste se observó que el 75,1% de los bosques del mundo experimentaron una disminución en la fragmentación, de este modo, la fragmentación en la mayoría de las regiones templadas y subtropicales, en el norte de Eurasia y el sur de China, disminuyó entre 2000 y 2020. También se identificaron ocho tipos de fragmentación que indican diferentes estados de recuperación o degradación. Siendo estos hallazgos de importancia para promover un alto a la deforestación y aumentar la conectividad entre los fragmentos forestales, especialmente en las áreas tropicales (Ma et al., 2023).

Puntualmente, en España se han realizado estudios para la formulación de medidas de manejo de la deforestación como el de García-Quiroga, Fernando Abad-Soria, (2014) siendo modelos de importancia para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). Al igual, se han llevado a cabo estudios de fragmentación de hábitats por infraestructuras lineales que permiten identificar los procesos de pérdida de hábitats para luego formular medidas de conservación (Peris Martinez, 2014). Ciertamente, este tipo de estudios de fragmentación y conectividad han trascendido inicialmente en Europa (Agencia Europea de Medio Ambiente -AEMA-, 2003), siendo luego empleados en otras regiones del mundo con el ánimo de proveer métodos de estudio y estrategias de gestión de impactos a través de la consolidación y restauración de corredores biológicos.

En América se cuentan con diversos estudios y modelaciones de corredores de movimiento de la fauna. Para el Ecuador se ha analizado el corredor de conectividad Podocarpus-Yacuambi (Yawi-sumak) en el año 2017. En tal investigación, se evaluaron métricas de fragmentación y se analizó la conectividad funcional para tres especies de mamíferos como *Tapirus pinchaque*, *Sturnira erythromos* y *Cebus albifrons* cuyos requerimientos ecológicos son diferenciados, en este caso especies terrestres, arborícolas y un murciélago. Allí se identificó que, pese a que el bosque abarca una gran extensión, la conectividad estructural es baja como resultado de la fragmentación. La conectividad funcional para el tapir y el murciélago es óptima, sin embargo, se estiman cuellos de botella en las zonas fragmentadas (Alonso-F. et al., 2017).

También se han desarrollado estudios multitemporales en México, puntualmente en la cuenca del lago Cuitzeo (Michoacán), empleando análisis de coberturas de diferentes periodos de tiempo para calcular la transformación a lo largo del tiempo entre el año 1975 y 2008, empleándose métricas en nivel de clase para realizar los análisis comparativos de coberturas. Destacó en tal estudio que las coberturas de tipo arbóreo y arbustivo reflejaron una conectividad estructural baja en comparación con las coberturas de origen antrópico, siendo estas dominantes a través del tiempo (Correa Ayram et al., 2014). También se cuenta con estudios de la fragmentación del paisaje en el área protegida " Los Petenes ", Campeche , México (Mas & Correa Sandoval, 2000).

En Brasil también se han desarrollado este tipo de análisis como base para la identificación del estado de amenaza de los bosques amazónicos a causa de la deforestación

(Colson et al., 2011) así como la construcción de vías (Pinto et al., 2018). Al igual, en los bosques amazónicos colombianos se han realizado estudios multitemporales de la composición y configuración del paisaje entre el año 1990-2016, sumándose la implementación de transectos de muestreo de la vegetación, identificándose una pérdida del 56,34% de áreas de bosque en tal periodo, con un aumento en la cantidad de parches, reducción de su área y ampliación de la distancia entre relictos, lo que evidencia procesos activos de fragmentación (Meza-Elizalde & Armenteras, 2018).

De esta manera, este tipo de estudios han sido ampliamente desarrollados en América y Europa, sirviendo como base para la formulación de la metodología aquí expuesta, así como se cuenta con un referente teórico bastante amplio a nivel mundial, el cual será expuesto en el numeral 5 Referente teórico, donde se detalla el surgimiento de las bases teóricas y estudios que conllevaron al avance en esta temática de estudio a lo largo del tiempo.

A nivel nacional se han realizado este tipo de estudios, puntualmente del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, al suroeste antioqueño, empleándose análisis de la conectividad estructural del paisaje (Marín Valencia et al., 2008). Se ha realizado otro estudio en el eje cafetero colombiano, empleándose un modelo de conectividad espacial, calidad de hábitat y distribución para el tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*) (Paola, 2011). Estudios que fueron consultados para evaluar la propuesta metodológica de este estudio, siendo incorporados algunos criterios de modelación de calidad de hábitat como el tipo de coberturas y vías.

Se cuenta con otro estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación sobre las

coberturas boscosas en la cuenca del río Palacé (Cauca) (Ordóñez & Figueroa-Casas, 2009). Al igual, se han empleado análisis de métricas del paisaje para identificar el estado de conservación de bosques nativos del Cordillera Central de los Andes colombianos (María & Mora, 2005). En suma, se han realizado estudios de fragmentación en los bosques secos de los Montes de María en el Caribe Colombiano (Galván-Guevara et al., 2015).

Ahora bien, para el área de estudio se expone enseguida todo el referente histórico y el estado del arte frente a los análisis de conectividad y fragmentación realizados. Dándose continuidad, en términos históricos Pardo Umaña (1988), narra en su libro *Haciendas de la Sabana* que para la época de la Colonia, entre la localidad de Usaquén y el Puente del Común, a cada costado de la actual Autopista Norte, dos grandes haciendas ocupaban aquellas tierras: una denominada Tibabita y otra Fusca. Posteriormente en el año 1775 se realizó el fraccionamiento de la Hacienda Fusca como motivo de su venta, dando paso a la estancia El Común (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Dicho fraccionamiento trajo consigo el surgimiento de la Finca Torca. Si bien no se dan detalles acerca de la calidad de las tierras, el geógrafo Alfred Hettner, en su recorrido por Bogotá, detalla las condiciones de los terrenos de la carretera que conectaba a Chapinero con el Puente del Común: *“la mayor parte de su trayecto pasaba por un enorme terreno pantanoso, ocupado por el matorral ya desde el páramo bajo”*. Esto da indicios que la extensión del humedal Torca para finales del siglo XIX era enorme, siendo reducido con el pasar del tiempo como resultado de las intervenciones de las cuales fue objeto, entre ellas la adecuación de pastos

---

y terrenos para que fueran aptos para ganadería y cultivos agrícolas (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Fue en el año 1950, que se llevó a cabo la construcción de la Autopista Norte, la cual fraccionó los humedales de Torca y Guaymaral, en tres partes: humedal sector Torca, franja angosta del separador de la Autopista Norte, y el humedal sector Guaymaral. Hacia 1994, se designó el humedal sector Torca (30,27 ha) a la localidad 1 de Usaquén y el humedal sector Guaymaral (49,66 ha) a la localidad 11 de Suba a través del Acuerdo 19 del Concejo de Bogotá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Posteriormente, a través del Decreto 190 de 2004 de la Alcaldía de Bogotá, estos humedales fueron catalogados como Parque Ecológico Distrital de Humedales con un área de ronda hidráulica de 41,51 ha, una Zona de Manejo y Preservación Ambiental (ZMPA) de 49,66 ha y perímetro de 5466,43 m. Mas adelante, en el año 2011 estos fueron declarados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) como Reserva Natural (López-Barrera et al., 2015).

Se data que los humedales de Torca y Guaymaral fueron delimitados por medio de la Resolución 033 de 1991 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, por lo que sus coordenadas fueron incorporadas en el anexo 2 del Decreto 190 de 2004 (POT) y posteriormente el Decreto 555 del 2021 realizó la ampliación del área legal, aumentando su área en 16,9 ha (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de

---

Ambiente -SDA-, 2022b).

De conformidad con los datos suministrados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) para el año 2014, cerca del 77,7% de los predios vecinos del humedal Guaymaral eran privados con un total de 21 propietarios, por otra parte, el 7,4% era del Distrito Capital y el 14,9% pertenecían a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB (López-Barrera et al., 2015).

Retornando a los años 1997, algunos estudios científicos reconocieron la Estructura Ecológica Principal (EEP) de la región y se propuso la creación de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Thomas Van Der Hammen" – RFPNTVDH, en el borde nororiental de la ciudad, como uno de los principales conectores de los ecosistemas en la sabana de Bogotá, siendo esta reserva colindante con los Humedales Torca y Guaymaral (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Al igual, se formuló la conservación de la riqueza ecológica y paisajística del área protegida, y se recomendó la recuperación y conservación de nodos de conectividad ecológica y crear un modelo de conservación, restauración y conectividad para los bordes norte y noroccidental de Bogotá para que fuera incluido en el POT (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Enseguida, el Distrito para el año 1999 definió en el POT la Reserva Forestal Productora

---

del Norte Thomas van Der Hammen (RFTVH), relacionando un área limítrofe con el humedal sector Guaymaral. No obstante, con la Resolución 305 del 8 de marzo de 1999, la CAR objetó el POT propuesto. Ya en el año 2000 el MAVDT, expidió la Resolución 475 del 2000, ordenando la creación de la reserva. De este modo, en el año 2011, se declaró la reserva forestal regional con categoría de productora a través del Acuerdo 011 del 19 de julio, la CAR, articulando de esta manera los nodos de conectividad (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Es de realzar que la reserva forestal “Thomas van Der Hammen” no incluye al humedal en el sector de Guaymaral pese a reunir un área de preservación ambiental, por lo que actualmente los predios pertenecen a propietarios privados y el territorio es utilizado para uso extractivo y productivo (López-Barrera et al., 2015). Mas adelante en el año 2005, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, contrató al Instituto de Estudios Ambientales-IDEA de la Universidad Nacional de Colombia, para que diera cabida al Plan de Manejo Ambiental de los humedales de Torca y Guaymaral, el cual fue aprobado mediante Resolución conjunta de la CAR y la SDA No. 002 de 2015 (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Seguidamente en el año 2018, se formalizó un acuerdo realizado entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB y el Fideicomiso Lagos de Torca, para la actualización del Plan de Manejo Ambiental de los humedales de Torca y Guaymaral, en cuya formulación, participó la EAAB, mientras que la revisión y ajustes fue adelantada por la Secretaría Distrital de Ambiente (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- &

---

Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Lo anterior en consideración a lo establecido en el Artículo 14 del Decreto 088 de 2017, donde se establece que la actualización del plan de manejo será de carácter obligatorio para que el Fideicomiso Lagos de Torca realice la recuperación ambiental del humedal en el marco de las intervenciones que realizará en sus alrededores, actuación que formará parte de las obras de restauración del humedal durante la Operación 4, según lo establecido en el artículo 169 “Implementación de las obras de Carga General” del precitado Decreto (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Es por ello que la formulación del Plan de Manejo Ambiental (PMA) para el humedal Torca y Guaymaral fue desarrollada anteriormente por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB- con el Instituto de Estudios Ambientales - IDEA de la Universidad Nacional de Colombia, siendo avalado por la Resolución Conjunta CAR-SDA N° 02 del 13 de febrero de 2015 (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Concedido esto, y en coordinación con la dinámica de transformación, proyección y planificación del territorio, se procedió con una nueva actualización del Plan de Manejo Ambiental (PMA) para este humedal en el año 2022 a través de la Resolución conjunta No. 029 del 08 de febrero del año 2023 *"Por la cual se aprueba la actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Reservas Distritales de humedal de Torca y Guaymaral declarados como Área Protegida Distrital se adoptan otras determinaciones"*.

---

Ello bajo las premisas de la Política Pública de Humedales que relaciona la necesidad de actualizar los estudios diagnósticos cada década, en pro de consolidar estrategias de manejo consecuentes con los cambios del paisaje, en línea con la proyección de territorios ambientalmente sostenibles y con lo determinado en el Decreto 088 del 2017, por el cual se establecen normas para el Plan Zonal del Norte – Ciudad Lagos de Torca, en donde se encuentra inmerso este ecosistema (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

De esta manera el PMA de los humedales de Torca y Guaymaral se actualizó bajo la metodología dada por la convención de Ramsar y siguiendo lo estipulado en los criterios del documento técnico interinstitucional sobre el manejo de los humedales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Resolución 196 de 2006), la Política Nacional para los Humedales de Colombia del Ministerio del Medio Ambiente del 2002, y la Política de Humedales del Distrito Capital de la Secretaría Distrital de Ambiente -SDA- (Decreto 624 de 2007) (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b).

Se cuenta con estudios sobre la biodiversidad del Humedal Torca - Guaymaral, al igual que los informes de gestión de las autoridades ambientales y el documento del plan de manejo ambiental, todos ellos adelantados por la Secretaria Distrital de Ambiente y la Corporación en colaboración con las universidades, la empresa de acueducto de Bogotá, entre otros que participaron en la formulación y actualización de este plan de manejo, sin embargo, son pocos

---

los estudios que registran sobre análisis multitemporales o análisis de conectividad como los presentados en esta metodología.

Se tiene conocimiento de los análisis de coberturas y conectividad del Humedal Torca - Guaymaral realizados por la SDA y la CAR en el marco de la actualización del plan de manejo de estos humedales, sin embargo, estos estudios fueron desarrollados bajo una metodología diferente a la aquí expuesta y solamente se enfocaron en los análisis de las coberturas al interior de la Reserva Distrital de Humedal, y tampoco se consideraron los modelos de conectividad para especies particulares (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a).

Contrariamente este estudio pretende vincular las coberturas de estos sectores aledaños a los humedales en los análisis para identificar la conectividad ecológica entre los Cerros Orientales y la planicie del río Bogotá, así como la conectividad con la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá Thomas van der Hammen y el Bosque Oriental, todas ellas integradoras de la EEP de la ciudad de Bogotá.

No es de olvidar que en dicho estudio se plantean estrategias de restauración ecológica en las áreas riparias de los corredores ecológicos de las quebradas afluentes, así como la recuperación paisajística de las áreas de los canales conectores del sistema y la implementación de pasos de fauna que han sido sugeridos de acuerdo con resoluciones establecidas en el año 2019, consecuentes a la proyección de vías y planes parciales bajo el proyecto urbanístico del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - Ciudad Lagos de Torca, en los alrededores del humedal.

---

Los cuales posibiliten la movilidad de la fauna a través de la autopista norte, y a través de los flujos de agua que pasan por el Box Culvert. Al igual se formulan puntos de conexión entre el humedal y los vallados que direccionan las aguas del humedal al río Bogotá. Todo ello como una medida de mitigación de la pérdida de individuos por atropellamiento en armonía con los lineamientos establecidos en el Decreto 088 del 2017 (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a).

Es de resaltar que el separador de la autopista norte se conecta con los corredores ecológicos de las quebradas vinculadas al humedal, así como con los sectores de Torca y Guaymaral, a través de los canales conectores del sistema hídrico. Esto posibilita la movilidad de las especies de fauna, desde el sector oriental al occidental de la autopista, y a lo largo del separador mismo. A su vez, la vegetación presente a lo largo del separador, producto de procesos de arborización de la ronda de los canales hídricos del separador ejecutados por el Jardín Botánico de Bogotá, se ha convertido en un potencial corredor biológico en el paisaje urbano, confiriéndole una gran importancia para la movilidad de las especies.

Es así que tanto el sistema hídrico como la vegetación del separador de la autopista facilita la conectividad, favoreciendo a algunas especies de fauna, que por sus características y amplia distribución toleran paisajes antrópicos (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a).

Por otra parte, como resultados importantes de la conectividad en la Reserva Forestal

Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “*Thomas van der Hammen*” destaca la importancia del separador de la Autopista norte que tiene características de humedal, cumpliendo un rol en la conexión entre los humedales de Torca y Guaymaral. Al igual, se destaca la conectividad de este complejo con el río Bogotá hacia el norte como un factor clave, el cual estaría seriamente amenazado por el Plan de Ordenamiento Zonal del norte (POZ), en este caso por el proyecto Lagos de Torca (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

Para la especie *Synallaxis subpudica* se identificó que las áreas núcleo principales son los matorrales altos y bordes de bosques nativos del área, implicando urbanizaciones como La Floresta de la Sabana y humedales con rondas de vegetación densa. Por otra parte, se estimó poca conectividad en la reserva. Sin embargo, se ha registrado esta especie en varias cercas vivas en las cuales hay vegetación nativa densa por debajo de los árboles grandes que puedan considerarse como fuentes secundarias. Las barreras principales identificadas para esta especie son las áreas abiertas extensas y construcciones, incluyendo invernaderos para flores (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

Esta conectividad potencial puede ser mejorada en estos sectores y el occidente del cerro de La Conejera en el sector de la hacienda La Conejera y predios aledaños, a través de la ampliación de algunas de las cercas vivas existentes y sembrando vegetación nativa como espino (*Duranta mutisii*), corono (*Xylosma speculifera*) y otras especies densas y espinosas (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

En dicho estudio se identificó que al sumar los mapas de conectividad de las cinco (5) especies de aves más restringidas al bosque, se observó que las prioridades de conectividad deben dirigirse hacia el borde norte de la reserva, al occidente del humedal de Guaymaral y al occidente del humedal de Torca.

También es notorio para las aves más generalistas que ampliamente usan los corredores que proveen las cercas vivas presentes en el área, caso particular de *Synallaxis subpudica*, *Icterus chrysater*, *Troglodytes aedon*, pues es notorio que la conectividad aún es importante en el borde norte de la reserva y la parte central al norte del Cerro La Conejera. Sin embargo, estas especies claramente tienen más alternativas a través de la red de cercas vivas al occidente del cerro La Conejera, al occidente del bosque de Las Mercedes en dirección al río Bogotá y una buena porción de la reserva al occidente de los cementerios (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

En la reserva y sus zonas aledañas es claro que las fuentes importantes de avifauna son los Cerros Orientales, el cerro de La Conejera y el bosque de Las Mercedes para las especies de aves terrestres. Ciertamente, los mayores potenciales de conectividad se dan a través de las cercas vivas y zonas arborizadas de clubes, cementerios y fincas. En cuanto a las aves acuáticas, las fuentes más importantes son los humedales distritales y el río Bogotá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

En este estudio se plantea la restauración ecológica en la reserva apuntando a crear, mantener o mejorar la conectividad entre esas áreas basada en la ampliación de las zonas

arboladas. Es así como a partir de estos análisis conjuntos y el nuevo POZ, que amenaza la conectividad con otras áreas naturales del sector, las recomendaciones para una restauración urgente son las siguientes a saber:

*(...) 1. Corredor al norte de la reserva a lo largo de la vía a Guaymaral. Este corredor es clave ya que es la conexión más cercana y directa con los Cerros Orientales a través del cerro de Torca (justo al sur del peaje) que se aproxima a la autopista en el sector en el que el separador tiene las mejores características boscosas. Además, es aledaño al futuro parque Metropolitano Torca Guaymaral (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).*

*2. Franja al norte del cerro de La Conejera que conectaría a través de la reserva las zonas que tienen garantizado un futuro verde a la luz de las nuevas políticas de ordenamiento. Une los cementerios al oriente y el occidente de la autopista norte con el Club Los Arrayanes y la hacienda del mismo nombre y al occidente del río Bogotá con el Club Pueblo Viejo. Provee conectividad con los Cerros Orientales aprovechando la porción oriental del Parque Metropolitano Torca Guaymaral y los corredores provistos en el POZ, que incluyen los cementerios y algunas zonas verdes a lo largo de dos quebradas que aún bajan desde los Cerros Orientales. Dentro de la reserva esta zona corresponde a la vía a Los Arrayanes y la urbanización La Lomita (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).*

*3. Corredor río Bogotá - bosque de Las Mercedes - Cerro La Conejera. Este corredor casi inexistente y en el cual ha hecho énfasis y viene trabajando la Fundación Humedal La Conejera*

---

*es de relativa fácil implementación a través de la unión con una franja boscosa ancha del bosque con la ronda norte del humedal La Conejera que continúe a lo largo de la margen derecha de la quebrada La Salitrosa hasta el cerro de La Conejera por el borde sur de la reserva en ese sector. Desde el bosque de Las Mercedes hacia el occidente se podría ampliar la escasa cerca viva a lo largo del carreteable interno de la hacienda Las Mercedes hasta el río Bogotá. Esta conexión es clave para garantizar el futuro de conectividad biológica de los organismos aún presentes en el bosque de Las Mercedes y la ronda del humedal así como los del cerro dando mucho sentido a la función de la reserva. (...) (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).*

Se destaca en dicho estudio que los Cerros Orientales son el fragmento con vegetación natural más grande entre los remanentes naturales presentes alrededor de la reserva, y consistente con su tamaño, parece ser la mayor fuente de especies para la reserva. Tomando en consideración que uno de los objetivos de la reserva es lograr la conectividad ecológica entre los Cerros Orientales y el río Bogotá, es fundamental consolidar la conectividad para que las especies presentes en los Cerros tengan acceso a áreas adecuadas en los humedales. Sin embargo, la presencia de la carrera 7 y la Autopista Norte se constituyen en grandes barreras de la conectividad (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

Se destaca además que los remanentes de ecosistemas naturales que persisten en el área de la reserva son pequeños, pero aún conservan una muestra representativa de la fauna de la Sabana de Bogotá. Por lo tanto, la protección de dichos remanentes es la clave para preservar la diversidad, para aumentar su área y las probabilidades de sobrevivencia de las especies. En

cuanto a los mamíferos se sugiere que, para aumentar la conectividad de la zona, deberían establecerse corredores entre parches de hábitats nativos o aumentar las áreas de condiciones similares alrededor de fragmentos vegetales, para reducir efectos de borde.

Para incrementar la conectividad entre los parches también es viable el establecimiento de hábitats o parches, con características similares a las de los naturales y que permitan la movilidad de las especies que no requieren un corredor continuo (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014).

## 4. Referente normativo y legal

**Tabla 1** Normatividad aplicable al ecosistema de humedal Torca -Guaymaral

Norma	Emite	Temática	Fuente
<b>Resolución 033 de 1991</b> Mediante la cual acotó como zona de ronda de los humedales de Torca y Guaymaral hacen parte del sistema hídrico de la ciudad.	Junta Directiva de la EAAB	Ronda Hídrica	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB -ESP.
<b>Ley 99 de 1993</b> Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones	Congreso de la República	General	Función Pública
<b>Decreto Ley 2811 de 1974</b> Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Presidencia de la República	General	Función Pública
<b>Ley 357 de 1997</b> Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971).	Congreso de Colombia	Humedales	Convención RAMSAR
<b>Resolución 196 de 2006</b> Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Humedales	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)
<b>Resolución 2618 de 2006</b> Por medio de la cual se crea el Comité Distrital de humedales y se dictan disposiciones sobre su funcionamiento.	Secretaría Distrital de Ambiente	Humedales	Secretaría Distrital de Ambiente (SDA)
<b>Decreto 062 de 2006</b> Por el cual se establecen mecanismos, lineamientos y directrices para la elaboración y ejecución de los Planes de Manejo	Alcaldía Mayor de Bogotá	Planes de Manejo Ambiental	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

Norma	Emite	Temática	Fuente
Ambiental para los humedales ubicados dentro del perímetro urbano del Distrito.			
<b>Decreto 624 de 2007</b> Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital.	Alcaldía de Bogotá	Humedales	Secretaría Distrital de Ambiente
<b>Decreto 386 de 2008</b> Por el cual se adoptan medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.	Alcaldía de Bogotá.	Humedales	Secretaría Distrital de Ambiente
<b>Decreto 1076 de 2015</b> Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Presidencia de la República	General	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)
<b>Decreto 101 de 2015</b> "Por el cual se declara el Estado de Prevención o Alerta Amarilla en los Parques Ecológicos Distritales de humedal Jaboque, Juan Amarillo, Torca-Guaymaral, Capellanía y El Salitre, y se dictan otras disposiciones".	Alcaldía de Mayor de Bogotá	Riesgos	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>Resolución 002 de 2015</b> Por medio de la cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental como instrumento de planificación que orienta las acciones de recuperación del humedal Torca y Guaymaral.	Secretaría Distrital de Ambiente - CAR	PMA Humedales Torca y Guaymaral	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>Resolución 2988 de 2015</b> Adopta el Plan de Acción de la Política de Humedales del Distrito Capital, documento que hace parte integral de la presente resolución.	Alcaldía de Mayor de Bogotá	PMA	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>Decreto 088 de 2017</b> Por medio del cual se establecen las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte – “Ciudad Lagos de Torca” y se dictan otras disposiciones.	Alcaldía de Mayor de Bogotá	Ordenamiento	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>Decreto 565 de 2017</b> Por medio del cual se modifica la Política de Humedales del Distrito Capital	Alcaldía Mayor de Bogotá	Humedales	Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

Norma	Emite	Temática	Fuente
<p>contenida en el Decreto Distrital No. 624 de 2007, en relación con la definición de recreación pasiva y usos en los Humedales</p>			
<p><b>Decreto 1468 de 2018</b> Por el cual se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, con el fin de designar al Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997".</p>	<p>Presidencia de la República</p>	<p>Humedales</p>	<p>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)</p>
<p><b>Decreto 555 de 2021</b> Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. Art. 55. Reservas Distritales de Humedal. Art. 56. Régimen de usos de las Reservas Distritales de Humedal. Art. Administración de las Reservas Distritales de Humedal.</p>	<p>Alcaldía de Mayor de Bogotá</p>	<p>Ordenamiento</p>	<p>Secretaría de Planeación y ordenamiento territorial  Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p>

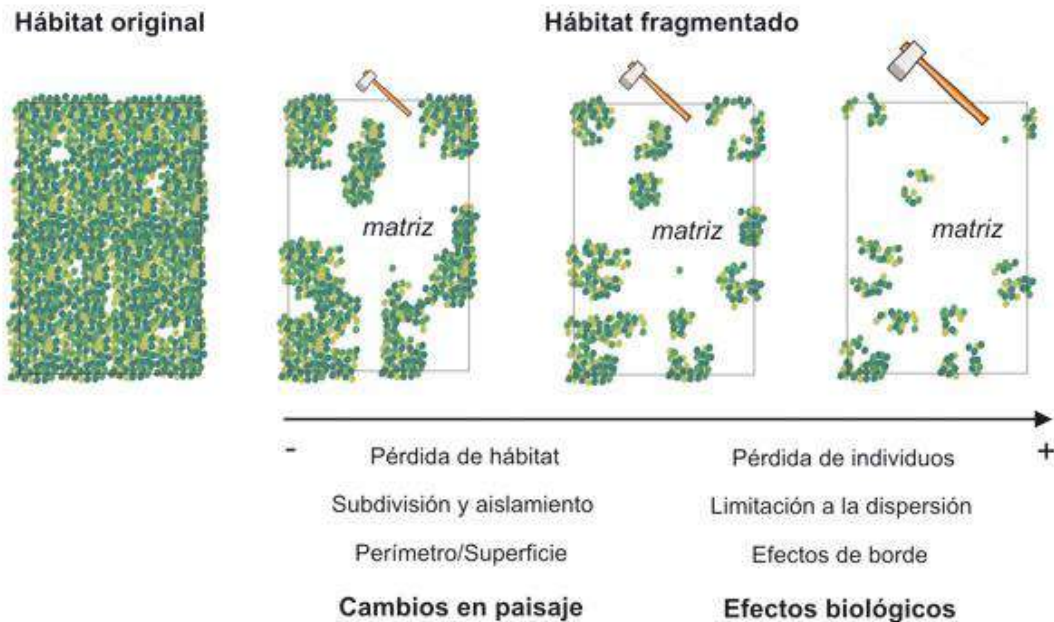
Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b)

## 5. Referente teórico

La fragmentación refiere a los cambios en la estructura y configuración de los hábitats o parches en el paisaje, esta procede con la transformación de un hábitat, inicialmente dominante y relativamente continuo, hacia un conjunto de parches de diversos tamaños, denominados fragmentos, que quedan embebidos en un nuevo hábitat, mayoritario y cualitativamente diferente al original, denominado matriz (Lindenmayer & Fischer, 2006). Es así como los paisajes fragmentados son el resultado tanto de procesos naturales, como de la respuesta diferencial de las especies a los gradientes ambientales, o las perturbaciones y los consecuentes procesos de sucesión, que generan mosaicos de hábitats con comunidades ecológicas diferenciadas.

No obstante, la fragmentación paisajística se incrementa notablemente a causa de la transformación de los hábitats derivada del uso por parte de habitantes del territorio que usan los recursos naturales, un ejemplo de ello es el uso del territorio dada la deforestación para expansión de terrenos agrícolas y ganaderos (García, 2011). La fragmentación resulta de la manifestación de tres procesos de alteración paisajística: 1) la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; 2) la subdivisión creciente del hábitat remanente; y 3) el incremento de la relación perímetro/superficie en dicho hábitat, tal como se aprecia en la Ilustración 1.

**Ilustración 1** Representación del cambio temporal en la composición y configuración del paisaje atribuible a la fragmentación de hábitats, desde un hábitat original hacia un hábitat fragmentado



Fuente: (García, 2011; Lindenmayer & Fischer, 2006)

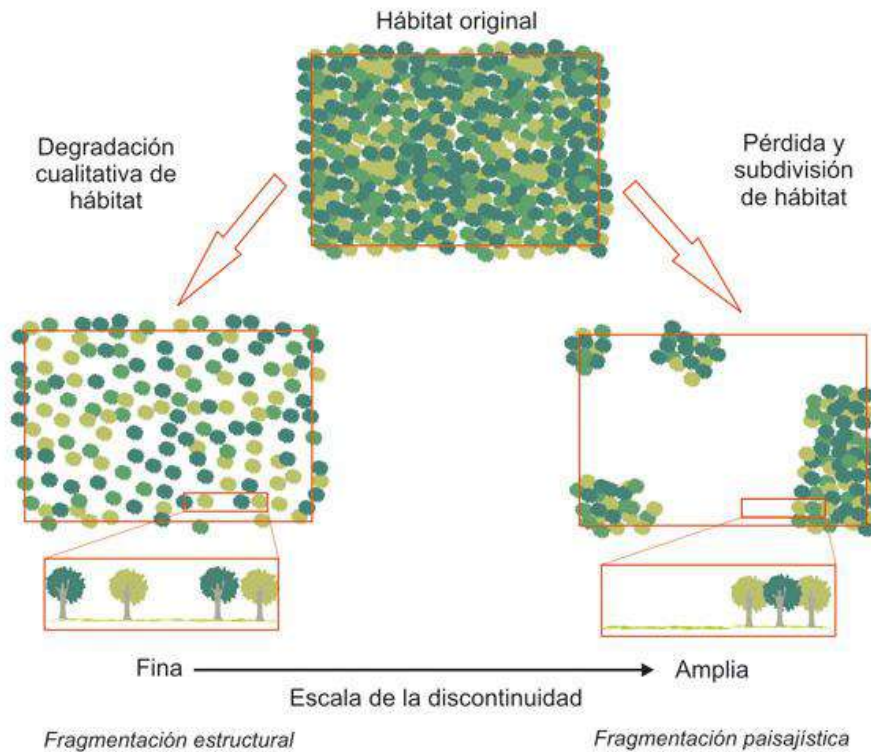
Explícitamente, la fragmentación provocaría un incremento del riesgo de extinción local de la fauna silvestre y especies vegetales a través de tres mecanismos: 1) las reducciones directas en los tamaños de las poblaciones, provocadas por la pérdida neta del hábitat (Andrén, 1994; Fahrig, 2003); 2) las reducciones indirectas en dichos tamaños, debidas a la dificultad de dispersión entre subpoblaciones impuesta por el incremento del aislamiento entre fragmentos (Fahrig & Merriam, 1994; Hanski, 1998); y 3) la disminución en la eficacia biológica de las especies de los fragmentos, al verse cada vez más sometidas, debido al incremento de la relación perímetro/superficie, a las condiciones ambientales nocivas que impone la matriz circundante por los efectos de borde (Murcia, 1995).

---

Con la fragmentación de hábitat cambia la estructura espacial del paisaje, y como proceso eminentemente espacial, tiene una escala específica de operatividad, una dimensión física donde el incremento de heterogeneidad generado por la desaparición y subdivisión del hábitat original es más patente (García, 2008). Las especies responden con base en los cambios en la heterogeneidad espacial de los hábitats dependiendo de la escala a la cual se producen, generándose respuestas escala-dependientes a la pérdida y la subdivisión de hábitats (Holland et al., 2004; Steffan-Dewenter et al., 2002). La escala espacial es así un factor de contingencia a la hora de detectar los efectos biológicos de la fragmentación. En otro sentido, el hecho de que ciertas especies no muestren una respuesta a la fragmentación a una escala no quiere decir que la fragmentación no tenga efecto a escalas más finas o más amplias (García, 2011).

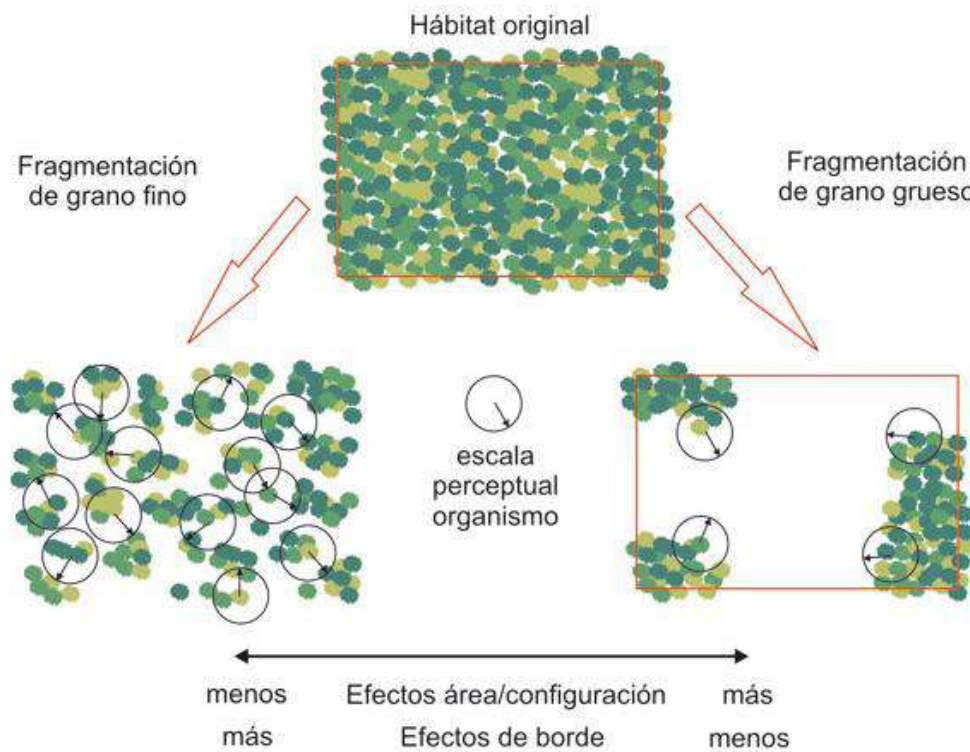
Desde la perspectiva de escala, la fragmentación consiste en la ruptura de la continuidad espacial en los sistemas naturales (Kattan & Murcia, 2002; Lord & Norton, 1990). Se han identificado distintas escalas de fragmentación, desde una escala fina o estructural, determinada por la pérdida de individuos o incremento de las distancias entre los mismos, a una escala amplia o paisajística, determinada por la pérdida de hábitat y aumento de las distancias entre fragmentos de hábitat (García et al., 2009), tal como se aprecia en la Ilustración 2.

La representación de un gradiente de escala para dicha discontinuidad espacial (ver Ilustración 2), permite comprender, desde una misma perspectiva, la degradación cualitativa del hábitat, derivada de la remoción de elementos estructurales y sin efecto aparente sobre la representación del hábitat en el paisaje, como por ejemplo la entresaca de árboles, y la pérdida y subdivisión del hábitat sobre paisajes amplios.

**Ilustración 2** Representación del proceso de fragmentación como pérdida de continuidad (Lord y Norton 1990)

Fuente: (García, 2011; Lindenmayer & Fischer, 2006)

La escala de fragmentación queda definida por un tamaño de grano, o grado mínimo de resolución del proceso, y una extensión, o área máxima afectada por el proceso. Se puede así referir a una fragmentación de grano fino para definir sistemas donde los fragmentos son pequeños pero están relativamente cercanos entre sí (las discontinuidades son cortas), mientras que referimos a una fragmentación de grano grueso para sistemas de fragmentos, en general, más grandes, pero más alejados entre sí, tal como se aprecia en la Ilustración 3 (García, 2011).

**Ilustración 3** Escenarios de fragmentación a distintas escalas a partir de un mismo hábitat original

Fuente: (García, 2011; Lindenmayer & Fischer, 2006)

La identificación de la escala de la fragmentación es arbitraria, y está determinada por el sistema de representación física de la realidad del observador. Dichos efectos van a depender de la escala perceptual de las especies, el “rango de acción” en el que van a percibir los gradientes de heterogeneidad de coberturas derivados de la fragmentación (D’Eon et al., 2002; Keitt et al., 1997). El contraste de dimensiones entre la escala perceptual de los organismos y el tamaño de grano de la fragmentación determinará finalmente la emergencia de efectos biológicos de la fragmentación o la escala funcional de los efectos de fragmentación (García & N.P., 2007) ver Ilustración 3 (García et al., 2009).

Así, un organismo cuya capacidad de movimiento, le permite cruzar la matriz para alcanzar un fragmento cercano (es decir, es capaz de percibir el gradiente completo de discontinuidad en la estructura del hábitat), raramente se verá afectado por la disponibilidad o el grado de subdivisión del hábitat en un escenario de fragmentación de grano fino (Ver Ilustración 3). Pese a ello, este organismo, en un escenario de grano grueso, será incapaz de desplazarse entre fragmentos. Por otra parte, si este organismo se viera afectado por efectos de borde, dichos efectos serían mucho más patentes en el escenario de grano fino, simplemente por la mayor densidad de borde (García, 2011).

Por ello, la reducción y fragmentación de los hábitats naturales o seminaturales de nuestro planeta, con la consecuente pérdida de especies, es considerada como una de las amenazas más frecuentes y ubicuas para la conservación de la biodiversidad (Fahrig, 2003; I. M. Turner, 1996).

A causa de la fragmentación y destrucción de un hábitat se produce un cambio progresivo en la configuración del paisaje que puede definirse por medio de cinco tendencias o variables paisajísticas que cambian simultáneamente y que inciden sobre la supervivencia de las especies (Andrén, 1994; Fahrig, 2003; Saunders et al., 1991): *En primera instancia se genera una pérdida regional en la cantidad de hábitat, con la consiguiente reducción del tamaño de las poblaciones de los organismos afectados. Como consecuencia, disminuye la densidad regional de las especies (número de individuos por unidad de superficie en toda la región considerada), un buen índice de su capacidad para restañar extinciones puntuales mediante el aporte de individuos desde sectores menos alterados.*

---

*En segunda instancia, se produce una reducción del tamaño medio y un aumento del número de los fragmentos de hábitat resultantes. Esta tendencia reduce progresivamente el tamaño de las poblaciones mantenidas por cada uno de los fragmentos, aumentando así el riesgo de que alcancen un umbral por debajo del cual son inviables. En tercer lugar, se produce un aumento de la distancia entre fragmentos, con la consiguiente dificultad para el intercambio de individuos entre las poblaciones aisladas, así como para reponerse, por recolonización, de una eventual extinción. Por último, se produce un aumento de la relación perímetro/superficie y, por consiguiente, una mayor exposición del hábitat fragmentado a múltiples interferencias procedentes de los hábitats periféricos, conocidos genéricamente como matriz de hábitat. Se da así un creciente efecto de borde que origina un deterioro de la calidad del hábitat en regresión, afectando a la supervivencia de las poblaciones acantonadas en los fragmentos (Andrén, 1994; Fahrig, 2003; Saunders et al., 1991).*

Salvo excepciones, las tendencias descritas se manifiestan conjuntamente a lo largo de los procesos de destrucción y fragmentación del hábitat, dando lugar a paisajes en los que, en fases avanzadas, faltan muchas de las especies originales (Andrén, 1994; Fahrig, 2003). A esta pérdida de especies, que no es sino una suma de extinciones regionales, se llega a través de dos pasos obvios: 1) una reducción progresiva de los tamaños de población en cada uno de los fragmentos de hábitat formados, así como a la escala de todo el paisaje, y 2) una pérdida definitiva de poblaciones en los fragmentos (extinciones locales).

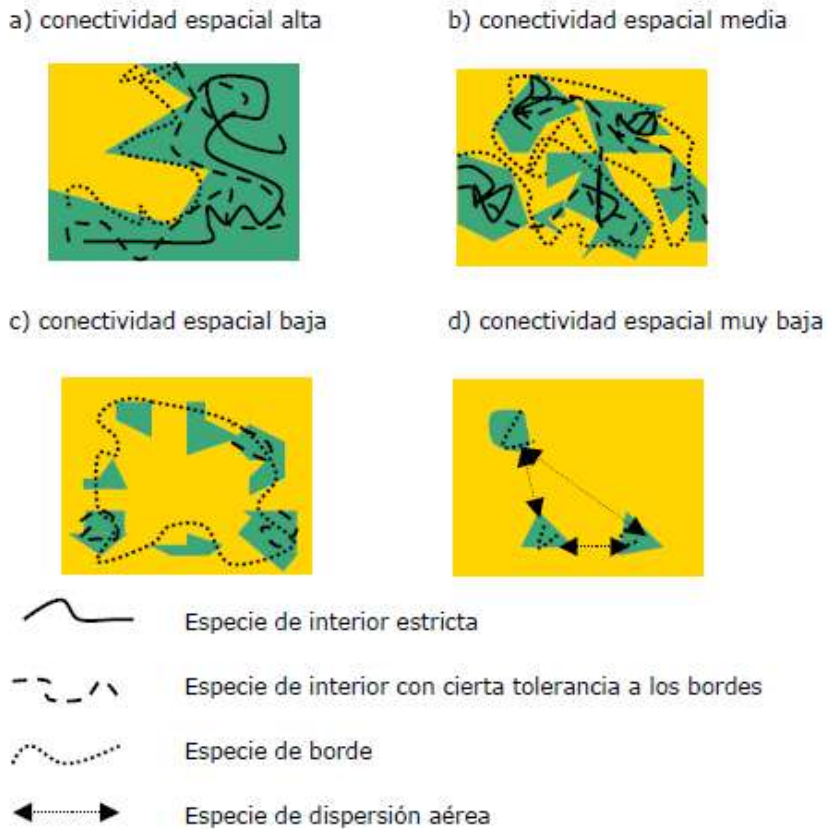
En suma, la reducción, fragmentación y deterioro del hábitat terminan por producir una

atomización de las distribuciones originales en subpoblaciones cada vez más pequeñas y aisladas, entrando a exponerse a problemas crecientes de viabilidad genética y demográfica (Frankham, 1995; Hedrick, 2001). Además, en varias investigaciones prueban que en las etapas finales de los procesos de fragmentación las condiciones son tan restrictivas que pueden afectar negativamente a parámetros tales como la condición corporal, el esfuerzo reproductivo (efecto Allee), la estabilidad durante el desarrollo, el comportamiento, etc. (Díaz et al., 2005; Lens & van Dongen, 1999; Luck, 2003; Tellería et al., 2001; Tomimatsu & Ohara, 2002).

Ahora bien, los corredores biológicos se basan en la teoría de que los fragmentos o coberturas conectadas por hábitats adecuados reducen la tasa de extinción de las especies permitiendo la conservación de hábitats aislados (Alonso-F. et al., 2017; Noss, 1992; Primack et al., 2001). Un paisaje con alta conectividad es aquel en que los individuos de una especie determinada pueden desplazarse fácilmente entre hábitats adecuados. Existen dos componentes que influyen en la conectividad potencial para una especie, una comunidad o un proceso ecológico, uno corresponde a la conectividad estructural y el otro a la conectividad funcional.

El componente estructural lo determina el patrón espacial y la forma de conexión de los diferentes tipos de hábitat o coberturas del paisaje, en tanto que el componente funcional se asocia a la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje (Ver Ilustración 4), siendo influenciados por las características del hábitat de cada especie, el grado de tolerancia a ambientes alterados y la fase de vida (Alonso-F. et al., 2017; Bennett, 2004).

**Ilustración 4** Relación entre la conectividad espacial y funcional según la movilidad de las especies asociadas al hábitat fragmentado



Fuente: Modificado de Burel y Baudry (2002)

Mediante el análisis de la estructura espacial del paisaje respecto a la forma, la composición y configuración de parches, podría estimarse la cantidad e intensidad de las intervenciones antrópicas (Marín Valencia et al., 2008). La conectividad estructural aumenta cuando los fragmentos de un tipo de cobertura se encuentran más próximos (Gustafson, 1998). En este caso, la conectividad del paisaje se ve reflejada por los posibles corredores o zonas de paso que se pueden configurar por coberturas que presentan menor resistencia a la movilidad de

organismos (Marín Valencia et al., 2008), que para el área de estudio corresponden a coberturas seminaturales, especialmente la vegetación secundaria y plantaciones forestales.

De esta manera, la conectividad estructural es analizada mediante la aplicación de índices o métricas del paisaje calculadas por medio de Sistemas de Información Geográfica que permiten estimar el grado de conectividad de fragmentos de un tipo de cobertura específica o a nivel de paisaje (Correa Ayram et al., 2014; Gustafson, 1998).

La estructura del paisaje puede ser analizada en tres niveles dependiendo de la finalidad del estudio: el nivel de fragmento, nivel de clase (tipos de cobertura) y nivel de paisaje (Gustafson, 1998; Mcgarigal et al., 2002). Para estimar los cambios en la conectividad y fragmentación del paisaje, el nivel adecuado corresponde al análisis a nivel de clase (tipos de cobertura natural y seminatural) (Correa Ayram et al., 2014). En este sentido, la mayoría de métricas a este nivel pueden ser interpretadas como índices de fragmentación dado que determinan la composición y configuración de cada cobertura en particular (Botequilha et al., 2006; Correa Ayram et al., 2014).

A nivel general, todos estos aspectos de conectividad y fragmentación del paisaje pueden ser evaluados por medio de la aplicación de métricas que brindan información sobre la configuración, forma y composición de parches de cobertura, siendo la base para el análisis de la ecología del paisaje. Debido a lo anterior, se consideró pertinente realizar el análisis de fragmentación y conectividad a nivel de cobertura, que es considerado como el nivel más apropiado para la estimación de métricas (Correa Ayram et al., 2014).

Por el contrario, los análisis de conectividad ecológica están orientados a evaluar las condiciones del hábitat partiendo del análisis de las condiciones medioambientales que determinan la distribución de especies como las coberturas, las fuentes hídricas, la presencia de vías, las diferencias climáticas, de altura, zonas de intervención humana, entre otros que son valorados en programas especializados para generar mapas de calidad de hábitat y posteriormente modelar corredores de movimiento de las especies.

---

## 6. Metodología

En esta sección se presenta el paso a paso a seguir para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos. En este caso, se ilustra la estructura lógica y el rigor científico del proceso de investigación, iniciando con la selección del enfoque metodológico para luego continuar con la descripción de los análisis a realizar, la forma de interpretación de datos y organización de los resultados del estudio. De esta manera, se exponen los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas planteadas para la resolución del problema de investigación. Se detallan las fases de recolección de la información en terreno, al igual que la organización, sistematización y análisis de los datos.

### 6.1 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico seleccionado para esta investigación es “cuantitativo” debido a que es secuencial y probatorio, al igual pretende medir y estimar magnitudes de los fenómenos, ello a través de la determinación de variables y unidades de medida. Así, se formula un plan para probar hipótesis (diseño); se miden las variables en el ámbito de interés; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (Hernández Sampieri et al., 2014).

El enfoque de este trabajo es identificar estos cambios a través del análisis de coberturas urbanas empleando procesos probatorios y análisis de la realidad objetiva, a partir del uso de imágenes satelitales para el posterior proceso de interpretación a través de la metodología

---

CORINE Land Cover. De esta manera, este estudio permite el análisis preciso de la información para los escenarios o temporalidades de estudio.

Para esta investigación se emplean métodos estadísticos para el cálculo de métricas de paisaje, clase y parche de las coberturas evaluadas a través del uso del Software Fragstat, en este caso métricas de composición, configuración, forma, borde, paisaje, diversidad y conectividad estructural de las coberturas y del paisaje. También se pone a prueba una hipótesis o teoría inicial partiendo de las condiciones actuales o de los impactos evidenciados en terreno o por medio de las imágenes satelitales (Hernández Sampieri et al., 2014). Paralelamente, implica el análisis de una causa y un efecto en el marco de la formulación del problema de investigación.

En suma, se generan modelos o mapas de calidad de hábitat para las especies de fauna, a partir de las condiciones de cobertura, la presencia de vías, arbolado urbano, la adaptabilidad de las especies entre otros, seguido del cálculo de los corredores de movilidad a través de Software especializados.

## 6.2 Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo descriptivo pues pretende explicar fenómenos, situaciones, contextos y sucesos (Hernández Sampieri et al., 2014), en especial los procesos de deforestación en el ámbito urbano o cambio de coberturas, al igual que los sucesos o situaciones que los promovieron o generaron de manera directa e indirecta, bajo un contexto local. En este caso, se pretende detallar como son o se manifestaron en la zona de estudio especificando las características de los fenómenos de cambio. Por lo que pretende medir o recolectar información sobre las variables (coberturas) para proceder con su descripción.

Es de realzar que algunos análisis de esta investigación tienen un alcance correlacional pues buscan conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más categorías o variables en un contexto particular (Hernández Sampieri et al., 2014). En este sentido, se evalúan las categorías de cobertura y se comparan las variables medidas para al menos dos escenarios de análisis (actual y antiguo), para describir la relación entre dos variables (métricas) de estas temporalidades, pero que poseen un vínculo entre tres, cuatro o más variables, por lo que se mide cada variable y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones (Hernández Sampieri et al., 2014).

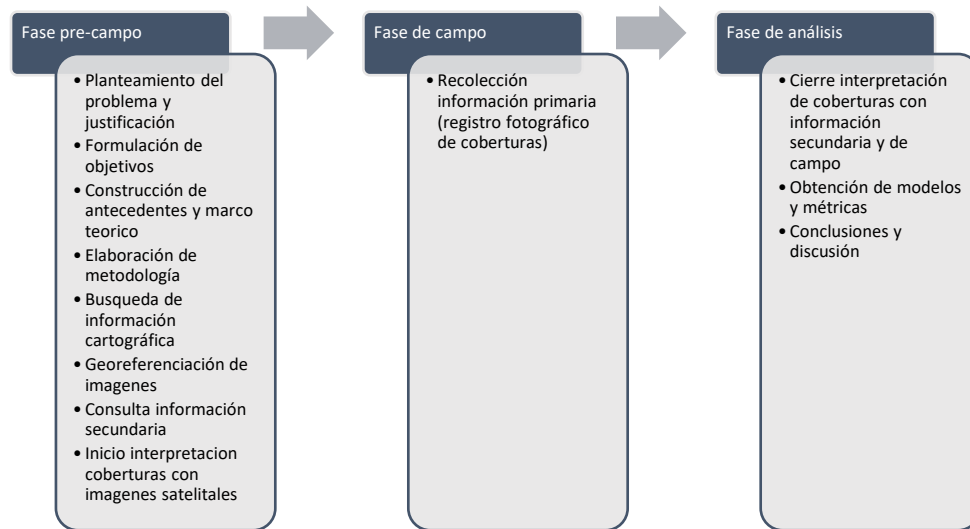
Es de agregar que también se tiene un alcance explicativo, pues los objetivos están dirigidos a responder por las causas de los eventos o fenómenos (Hernández Sampieri et al., 2014), ello a través del análisis de coberturas que son remplazadas o transformadas a otras, en

términos del cambio en el uso y algunos otros eventos identificados en las imágenes satelitales. Lo que permite explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta (espacio o tiempo) o por qué se relacionan dos o más variables, y ello también puede ser encaminado a través de los hallazgos encontrados en campo.

### **6.3 Procedimiento**

El diseño de la investigación representa la conexión de los conceptos como el planteamiento del problema, la perspectiva teórica y las hipótesis con las fases subsecuentes cuyo carácter es de tipo operativo (Hernández Sampieri et al., 2014). Para efectos de este trabajo se empleó un diseño no experimental cuantitativo pues se realiza sin manipular deliberadamente variables, no se genera en forma intencional variaciones en las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. De esta manera, se observan fenómenos tal como se dan en su contexto natural para continuar con su análisis (Hernández Sampieri et al., 2014).

La investigación no experimental refiere que las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre ellas ni se puede influir en ellas, porque ya ocurrieron, al igual que sus efectos (Hernández Sampieri et al., 2014). De esta manera, se pretende analizar los cambios que ya ocurrieron en las coberturas sin alterar los resultados, partiendo únicamente de lo evidenciado en las imágenes satelitales y la cartografía oficial de Bogotá. Considerado este diseño de investigación, en esta sección se describen las actividades a desarrollar para dar alcance a los objetivos, siendo agrupados en fases (Ver Ilustración 5).

**Ilustración 5** *Fases de la investigación*

*Fuente: elaboración propia*

Los diseños no experimentales a realizar en esta investigación comprenden alcances longitudinales o evolutivos pues su propósito es analizar los cambios de las coberturas urbanas a través del tiempo, al igual que involucra diseños transeccionales o transversales a través de la recolección de información fotográfica en un único momento (escenario actual), como es el caso de las condiciones actuales de las coberturas de la tierra, los registros de especies de fauna y cálculo de rutas de movimiento para la actualidad, siendo de carácter descriptivos y correlacionales-causales.

El diseño transeccional descriptivo busca diferenciar en una o diversas variables a un conjunto de situaciones, contextos o fenómenos (Hernández Sampieri et al., 2014), particularmente para los análisis de las métricas estimadas para coberturas de la actualidad y su

---

relación con el contexto o las dinámicas del territorio. Mientras que los diseños transeccionales correlacionales-causales describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado, como es el caso de las variables empleadas en la modelación de calidad de hábitat y corredores de fauna (coberturas, vías, sistema hídrico, arbolado).

### **6.3.2 Fase pre-campo**

Para la selección de la muestra se tuvieron en cuenta aquellos sectores aledaños al humedal que son de relevancia en su transformación y conectividad ecológica, así como se involucraron los elementos de la Estructura Ecológica Principal aledaños y que son receptores de las especies de fauna, así como se vincularon otros nodos que favorecen la conectividad entre los Cerros Orientales y la zona de Reserva Forestal Tomas van de Hammen. En este caso particular, se empleó una muestra no probabilística donde la elección de los elementos a estudiar no depende de la probabilidad, sino de causas vinculadas con los fines de la investigación o los propósitos del investigador (Hernández Sampieri et al., 2014).

En este caso, este estudio requirió únicamente de la recolección de fotografías de las coberturas de la zona para poder dar mayor precisión al momento de la interpretación de la imagen satelital del año 2024, al igual, se tomaron registros fotográficos de la Estructura Ecológica Principal, las reservas aledañas, entre otros aspectos que permitieron la delimitación del área de estudio.

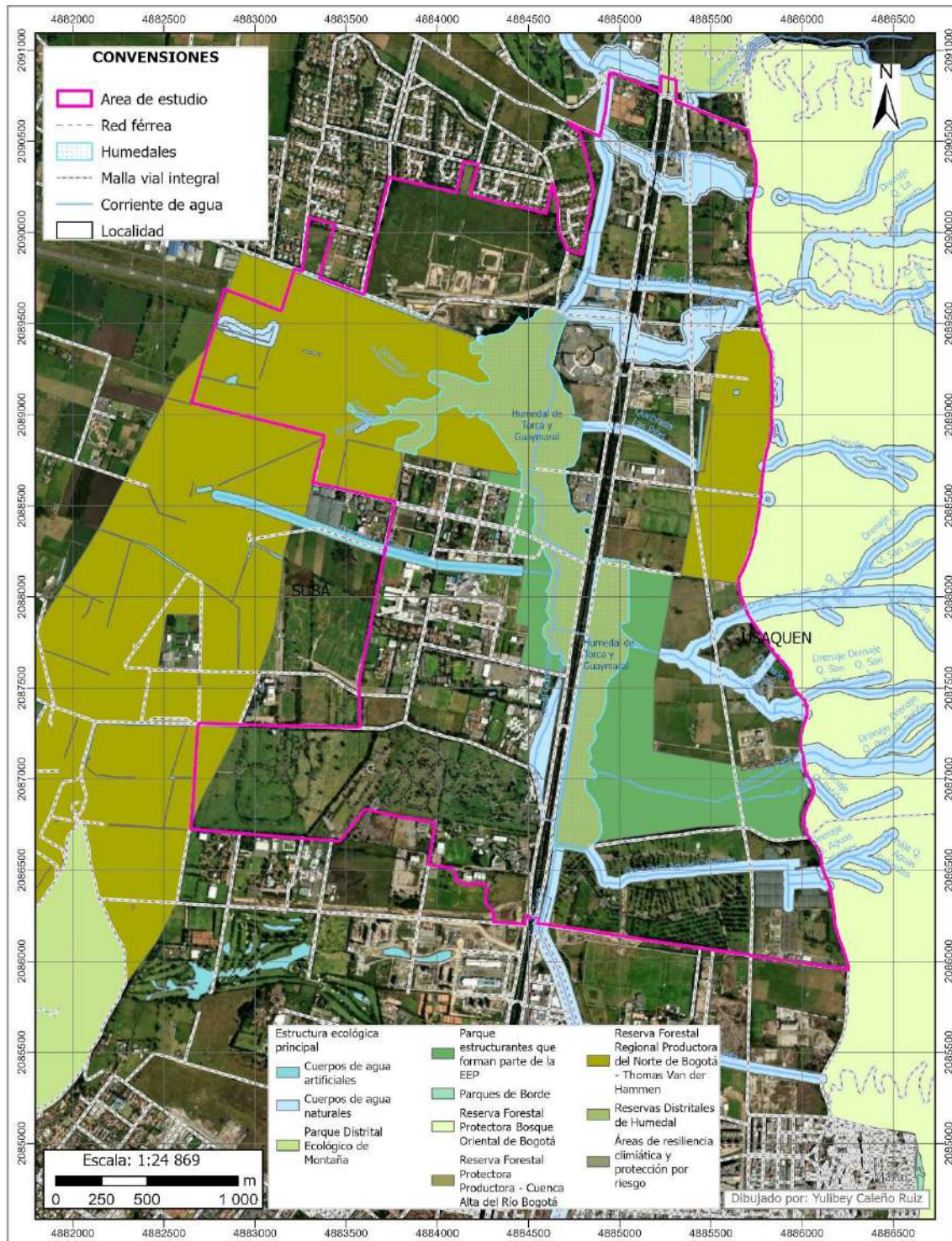
Se eligió este tipo de muestra por su utilidad y con relación a que requieren no tanto una

---

“representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema (Hernández Sampieri et al., 2014). Es por eso que esta investigación se centra en delimitar un área de estudio o de interés que reúna las zonas colindantes al humedal, las cuales, sean zonas que generen la mayor presión sobre el humedal, presenten alguna conectividad visible a través de la imagen satelital con la vegetación del humedal o que puedan ser zonas con probable conectividad entre las zonas de la Estructura Ecológica Principal.

Al igual se incluyeron en el proceso de delimitación los predios o infraestructuras que impidan la conexión con otros sectores verdes, y como tal, no son necesarios incluir en los análisis y se definan como barreras delimitadoras del área de estudio, ver Figura 4.

Figura 4 Área de estudio, criterios delimitadores y Estructura Ecológica Principal



Fuente: elaboración propia

Complementariamente, en esta fase se obtuvo a través de fuentes secundarias algunas imágenes satelitales que fueron de utilidad para esta investigación, con el fin de contar con una mejor visualización de las coberturas del humedal Torca – Guaymaral y además para poder realizar la interpretación de coberturas de una forma más precisa, ello a partir de insumos de alta resolución que, finalmente vendrían siendo imágenes de apoyo durante la interpretación. Puntualmente, se empleó una imagen satelital suministrada por el proyecto Lagos de Torca correspondiente a una Ortofoto con una resolución espacial de 10 cm (Ver Figura 5 y Anexo C), la cual fue solicitada a través de radicados de consulta (Ver proceso metodológico en Ilustración 6).

Otro insumo obtenido corresponde a una imagen suministrada por la empresa GeoSpatial que cuentan con una resolución de 1,5m, 4 bandas de resolución espectral y una temporalidad del 17/02/2021 la cual fue tomada del satélite DailyVision1m-JLGF3 con un área neta cubierta sobre la zona de interés de 43km<sup>2</sup> con un porcentaje de nubosidad de 0% (Ver Figura 6 y Anexo C).

Esta imagen fue adquirida por la empresa INGEDISA S.A contándose con permiso de uso de este insumo ya que el investigador labora actualmente en ella, y actualmente se encuentra en proceso de estudios ambientales de este humedal en el marco del proyecto de transmisión de energía de alta tensión que se pretende construir en el corredor verde de la Autopista Norte, siendo de relevancia para el mismo.

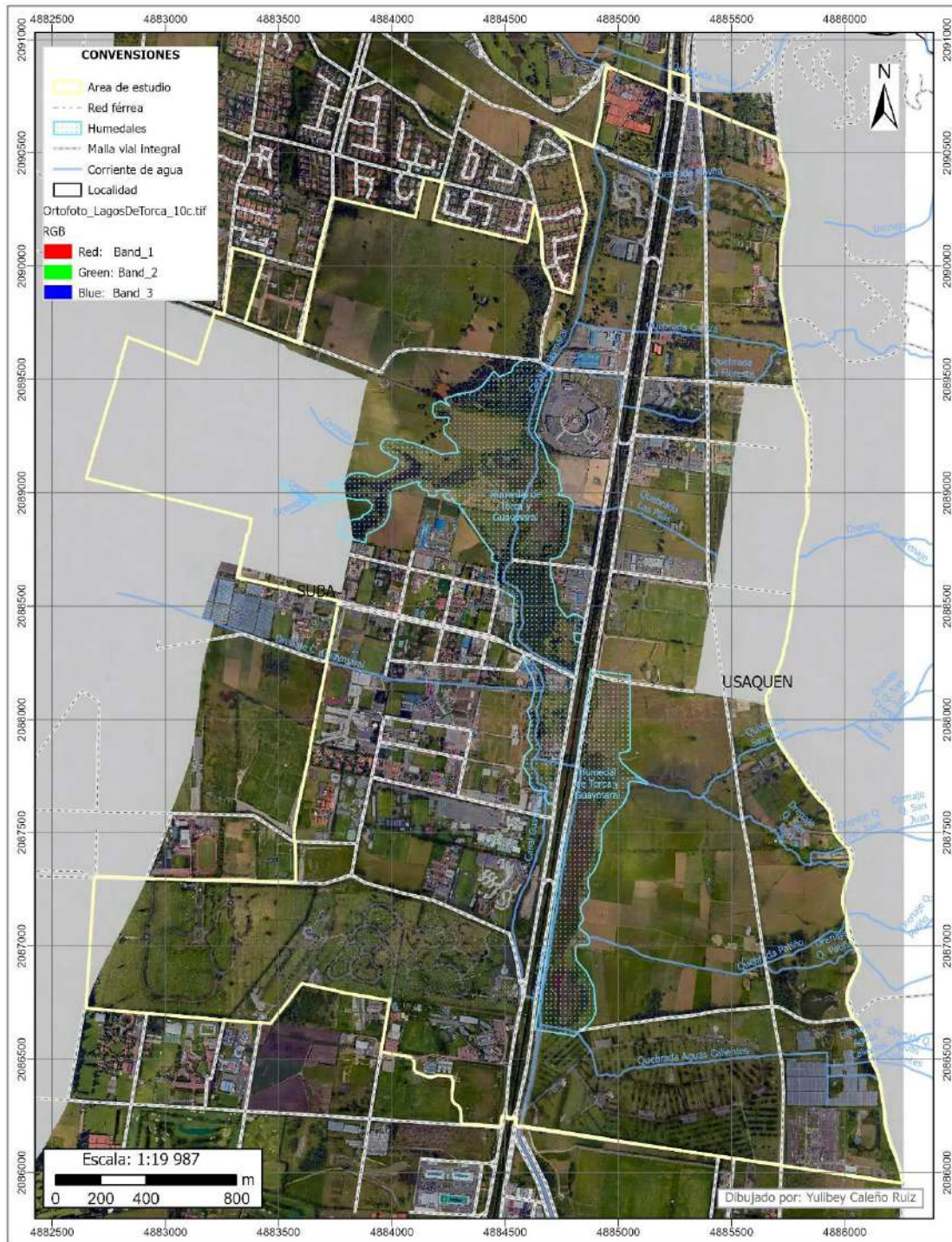
Por otra parte, se eligió una imagen de Google Earth del año 2010 para el análisis

---

multitemporal, descargada con una máxima resolución (8192\*5077), siendo georreferenciada a través del programa ArcGIS pro (Ver Figura 7 y Anexo C). Para la interpretación de coberturas de la tierra del escenario actual (año 2024) se empleó la imagen de Google satélite y Google Earth (Ver Figura 8), siendo apoyada por las imágenes de GeoSpatial y la Ortofoto (Ver Figura 5 y Figura 6).

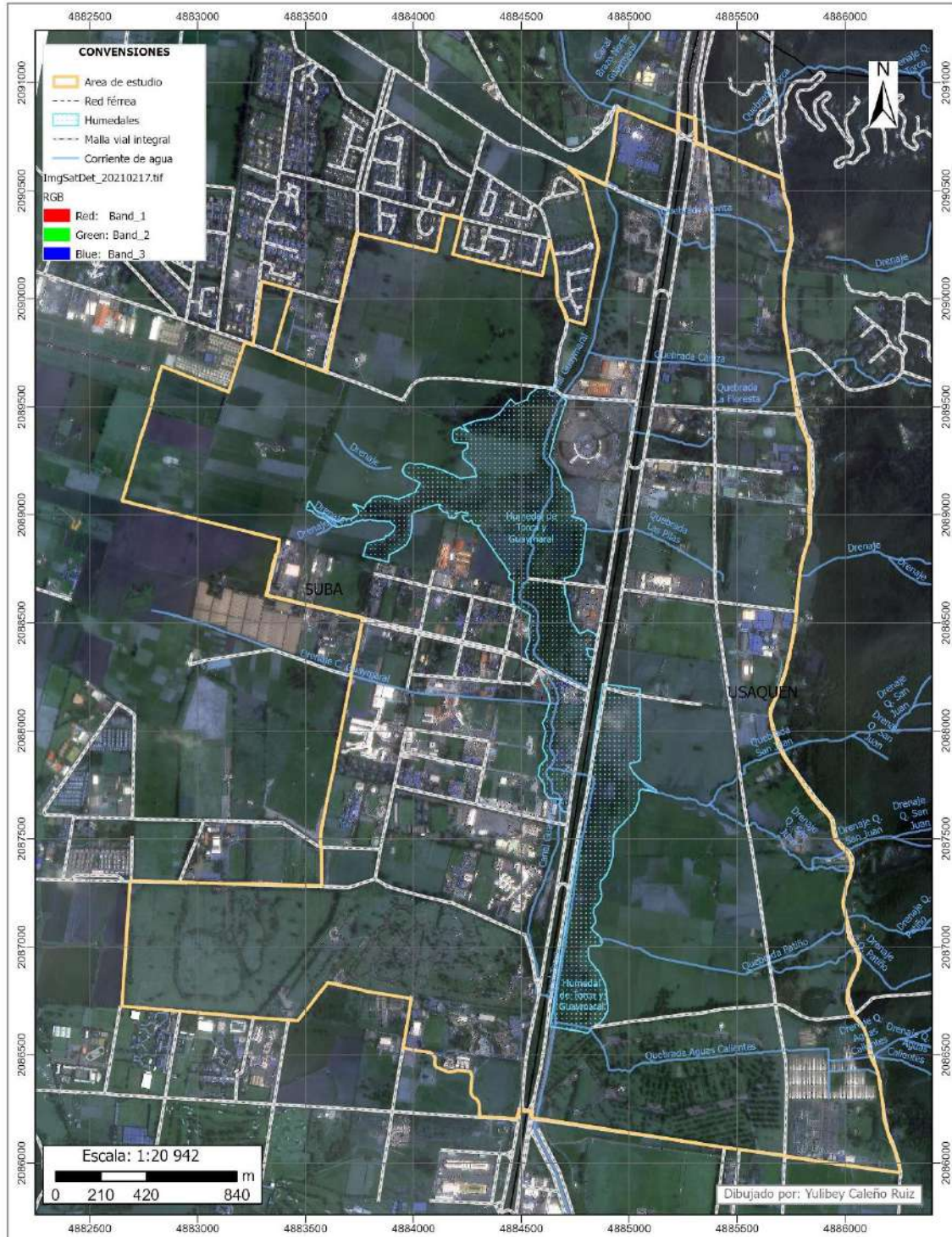
Se obtuvo de similar manera la información cartográfica o GDB del POT aprobado a través del Decreto 555 del 29 de diciembre 2021 a través de la solicitud de información por oficio de consulta, recurso que sirve como base para los análisis aquí requeridos. También se obtuvo el shapefile del arbolado urbano definido por el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

Figura 5 Ortofoto proyecto Lagos de Torca



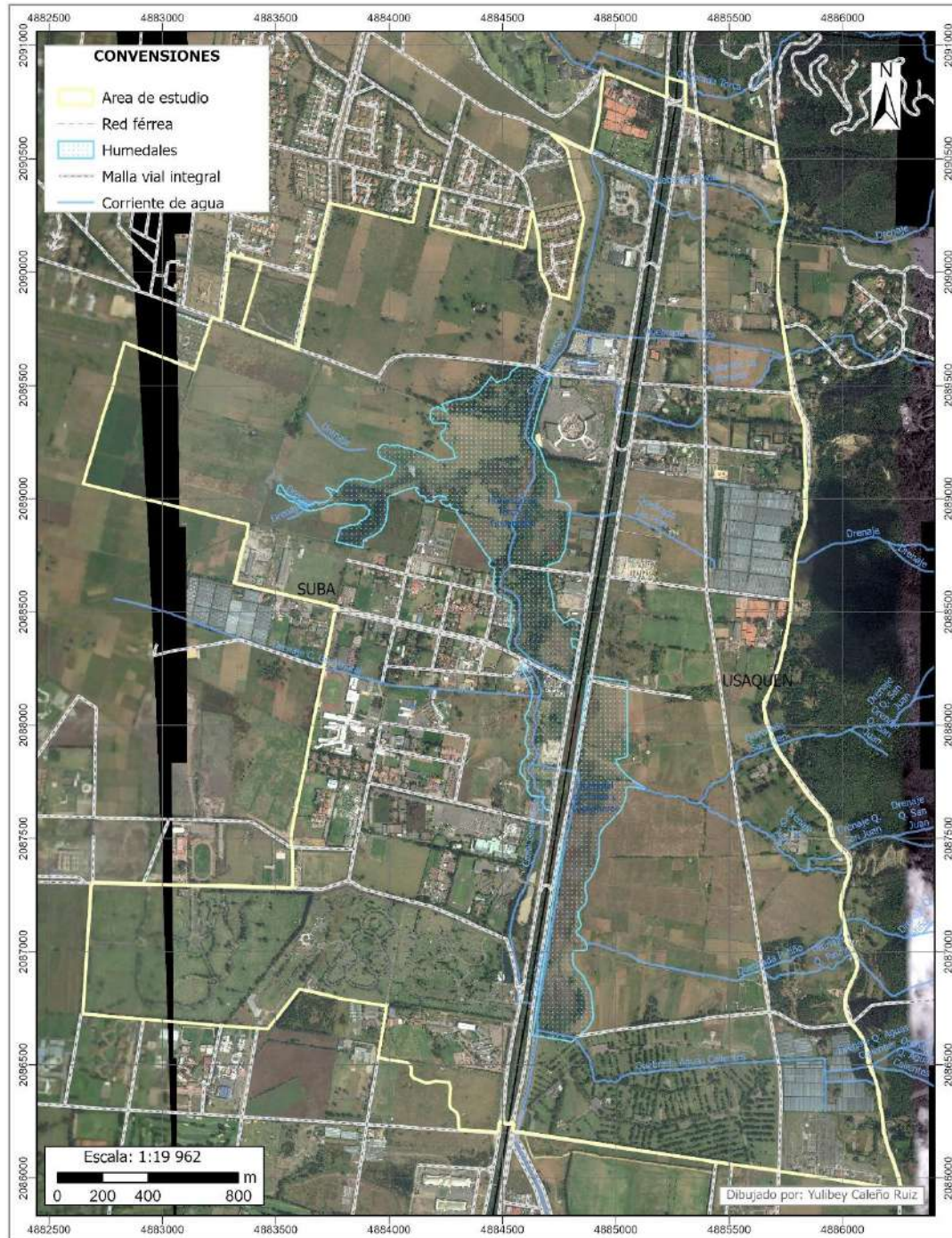
Fuente: Fidecoismo proyecto Lagos de Torca

Figura 6 Imagen satelital GeoSpatial (Año 2021)



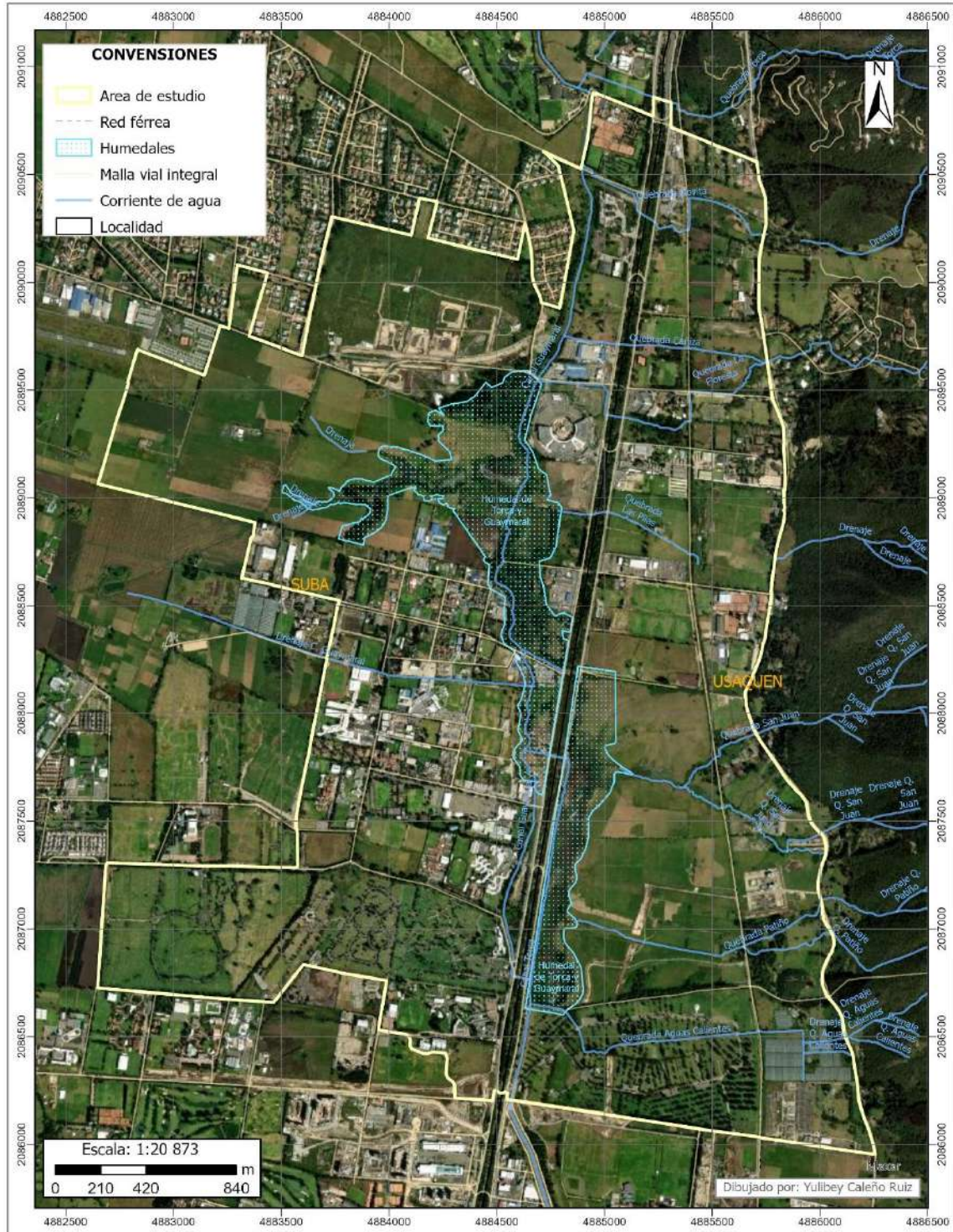
Fuente: INGEDISA S.A.

Figura 7 Imagen satelital empleada para la interpretación de coberturas en el año 2010



Fuente: Google Earth, adaptado por el autor

Figura 8 Imagen satelital empleada para la interpretación de coberturas en el año 2024



Fuente: Google satélite, adaptado por el autor

---

También se consultó el registro de especies de fauna de la zona tomando en consideración información secundaria del Plan de Manejo Ambiental y los estudios de caracterización realizados por el proyecto Lagos de Torca y la línea de transmisión de energía que se tiene proyectada en la zona (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022b; Enel Colombia S.A. E.S.P. & Ingedisa S.A., 2023). Lo anterior con el fin de elegir especies de importancia para la conservación, por su estado de amenaza, tipo de migración o movilidad, endemismo, vulnerabilidad ante los cambios o proyectos a ejecutar en la zona.

Así las cosas, para el análisis de conectividad funcional se seleccionaron dos especies de fauna de interés las cuales fueron analizadas en términos de su requerimiento de hábitat, estado de amenaza, comportamiento, su registro en la zona, con el fin de modelar el uso del ecosistema y las rutas de movimiento. Partiendo de una mesa de expertos se eligió la especie *Synallaxis subpudica* (Pijuí de Cundinamarca) y *Porphyriops melanops* (Polla sabanera) con el fin de tener un panorama de la posible afectación sobre el grupo de aves, por otra parte, la especie *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero) con el fin de modelar las rutas de movimiento y calidad de hábitat de una especie terrestre registrada en la zona, para con ello.

Para la elección de la especie se tuvieron en cuenta aspectos de conservación, vulnerabilidad, funcionalidad, importancia ecológica y etología de la especie, con el fin de modelar de forma precisa la conectividad funcional del ecosistema. Se involucraron en el análisis

---

los impactos de las vías, la infraestructura y las condiciones del ecosistema en la conformación de nichos de la especie y sus dinámicas de movilidad por el paisaje para el escenario actual. De este modo, se analizaron los efectos de las vías, la presencia de afluentes, humedales, el arbolado urbano y el uso de coberturas para cada una de las especies de interés en el escenario actual. También se va evaluar la posibilidad de modelar la calidad de hábitats y corredores para una especie de ave que habite permanentemente en el humedal, lo cual será analizado posteriormente a la obtención de información secundaria y cartográfica.

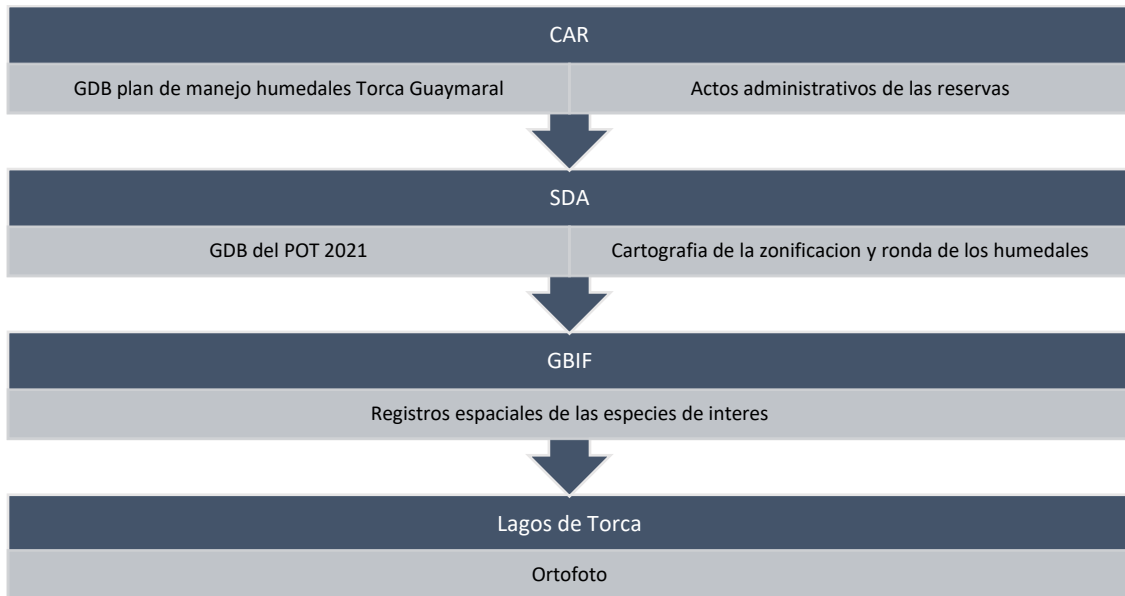
Entre otra información consultada, se encuentran los documentos suministrados a las precitadas empresas por parte de la CAR y la SDA, siendo obtenida la cartografía, documentos e imágenes a través de radicados de consulta, algunos por medio físico en la ventana de atención de cada entidad y otros por medio magnético (correo electrónico), ver proceso en Ilustración 6. Dentro de la información suministrada, se encuentran las imágenes satelitales, cartografía temática, actos administrativos, línea base de biodiversidad, cartografía de ronda hídrica, zonificación, coberturas de la tierra del humedal Torca - Guaymaral y la GDB del POT Bogotá (Ver Ilustración 7). Es de resaltar que los documentos técnicos del Plan de manejo ambiental se encuentran disponibles en su plataforma virtual, sin embargo, la cartografía relacionada fue solicitada a través de radicación de oficios.

**Ilustración 6** Proceso de obtención de información secundaria



Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 7** Entidades que suministraron información



Fuente: Elaboración propia

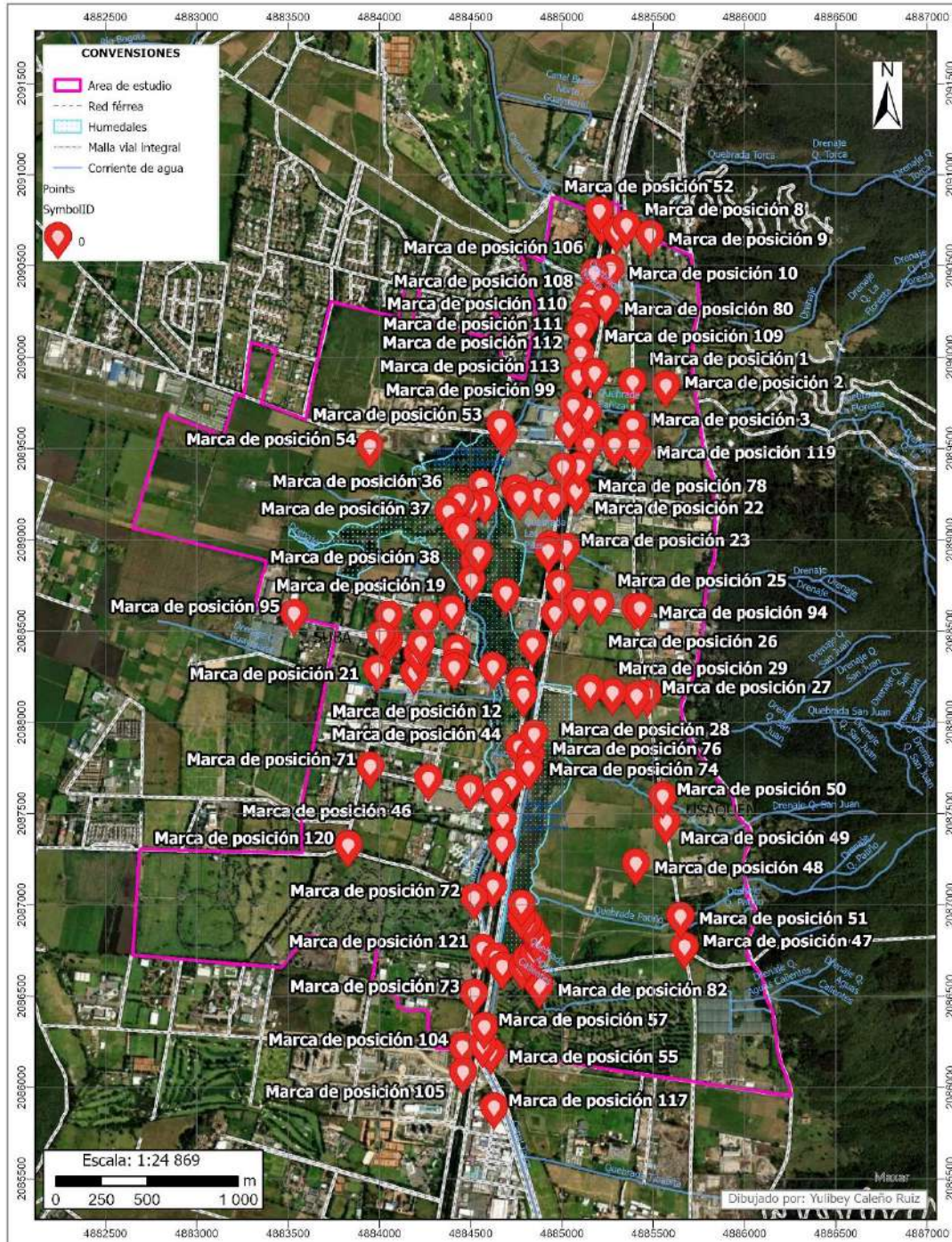
### 6.3.3 Fase de campo

Para esta investigación se realizó un único recorrido por el Humedal Torca - Guaymaral en el año 2023, comprendiendo el periodo entre el 11 y 18 de mayo, como parte de los estudios ambientales realizados para este sector por parte del investigador. Estos recorridos se basaron en el registro fotográfico de la zona de interés para poder identificar con mayor precisión las coberturas de la tierra, siendo recopilado este registro a través de la herramienta Avenza maps (Ver Figura 9), ello partiendo de la previa generación de un mapa guía que contuvo la imagen satelital, las vías, sitios de validación de coberturas, la Estructura Ecológica Principal, entre otros de relevancia.

Posteriormente, se procedió a descargar la información en formato KMZ, gpx y Excel, siendo calculadas las coordenadas de cada punto en formato CTM12 a través del programa Arcgis Pro, junto con el nombre del barrio y localidad, ello a partir de la información cartográfica del POT de Bogotá, ver Anexo D, Puntos de campo y KMZ. Esto permitió contar con información de cada una de las zonas de interés identificadas en la fase preliminar de interpretación de coberturas.

Es de agregar que la mayoría de las fotografías fueron tomadas en una cámara semiprofesional marca CANONRS1494 para logran un mayor detalle. Insumo complementario a la herramienta Avenza, contando con fotografías de mayor resolución, ello para evitar colapsar esta herramienta.

**Figura 9** Resultados recorrido campo con herramienta Avenza maps relacionando los puntos de registro fotográfico



Fuente: Avenza maps y el autor

### **6.3.4 Fase de análisis**

#### **Interpretación de coberturas**

Para esta investigación se realizó una interpretación de coberturas de la tierra por medio de la metodología CORINE Land Cover, empleando las imágenes satelitales obtenidas para el año 2010 y la imagen actual del proyecto lagos de Torca y GeoSpatial, contando con un apoyo adicional de la imagen satelital de Google, logrando un nivel 3 y 4 de interpretación, contando así con un total de dos (2) escenarios o temporalidades de estudio.

Para la delimitación de áreas con patrones de cobertura homogénea u heterogénea, se han tenido en cuenta las conceptualizaciones de interpretación, delimitación y codificación de coberturas de con acuerdo a la *Leyenda nacional de coberturas de la tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia* (IDEAM, 2010), junto con herramientas de software cartográfico especializado como ArcGIS pro.

La interpretación se realizó partiendo de los criterios de percepción remota, entre los que se incluyen el reconocimiento de formas, texturas y colores, además de los patrones que conforman las coberturas identificadas, lo cual permite agruparlas en áreas homogéneas según proporción y cambios sustanciales en la estructura de la porción de área analizada. Por otro lado, se realiza también la consulta de información contenida en los geo visores nacionales, además del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá Decreto distrital 555 de 2021, y el

---

POMCA del río Bogotá 2019 (CAR), e información que permite tener un acercamiento de las diferentes categorías de cobertura que puedan identificarse en el territorio, resaltando su alta presencia de espacios transformados por las áreas dedicadas a la explotación de servicios (educación, recreación), desarrollo de infraestructura y áreas dedicadas a la producción de productos en áreas confinadas.

El proceso de interpretación de información temática (cobertura de la tierra y uso del suelo), tanto en pantalla como la revisión de control de calidad se realizó a una escala 1:5.000 lo cual permite la generación de la cartografía preliminar a escala 1:25.000, se deben seguir algunos parámetros de representación cartográfica, con el fin de que el contenido de la cartografía conserve los criterios con los cuales se generaron las diferentes unidades y permita su distinción cuando se presente en formato análogo.

Asimismo, se recomienda que el área mínima cartografiable sea de 4 x 4 mm para la representación de información temática, con el fin de garantizar operatividad y adecuada lectura de los mapas. Esto quiere decir que para la escala 1:25.000 el área mínima cartografiable de las temáticas será de 5.000 m<sup>2</sup> (SGC, 2017), teniendo en cuenta la cobertura presente dentro del área de estudio, con excepción de los cuerpos de agua que se tendrán en cuenta sin importar esta área mínima. Sin embargo, se tuvieron en cuenta variaciones de la escala y se validaron en estos casos el área mínima cartografiable de acuerdo con la Tabla 2.

**Tabla 2** Área mínima cartografiable para distintas escalas

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Unidad mínima cartografiable (4x4mm)	
	m	km	m	km	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
1:500	5	0.01	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1.000	10	0.01	1	0.001	16	0.000016
1:2.000	20	0.02	2	0.002	64	0.000064
1:5.000	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
1:10.000	100	0.1	10	0.01	1600	0.0016
1:20.000	200	0.2	20	0.02	6400	0.0064
1:25.000	250	0.25	25	0.025	10000	0.01
1:50.000	500	0.5	50	0.05	40000	0.04
1:100.000	1000	1	100	0.1	160.000	0.16
1:250.000	2500	2.5	250	0.25	1'000.000	1
1:500.000	5000	5	500	0.5	4'000.000	4
1:1'000.000	10000	10	1000	1	16'000.000	16
1:6'000.000	60000	60	6000	6	576'000.000	576

Fuente: Elaborado a partir de Priego-Santander, A.; Bocco, G.; Mendoza, M.; Garrido, A. (2008). *Propuesta para la generación semi automatizada de unidades de paisajes, Fundamentos y métodos*. México: Instituto Nacional de Ecología, 98 p.

Paralelamente, se realizó el control de calidad (revisión y corrección continua y sistemática), con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos. De acuerdo con el tamaño de píxel y la resolución que poseen las imágenes, estas permiten trabajar a una escala de hasta 1:2.000, por lo cual se eligió una escala de 1:5.000 para este análisis e interpretación de coberturas que fue elaborado manualmente a partir de las herramientas de edición y las imágenes obtenidas. Finalmente, la delimitación fue corroborada posteriormente con las visitas de campo a través de puntos de control para ajustes pertinentes del mapa final de coberturas de la tierra.

### **Métricas de fragmentación**

La estructura y composición del paisaje puede ser analizada en tres niveles correspondientes: en el nivel de fragmento, nivel de clase y nivel de paisaje, dependiendo de los

objetivos del investigador (Gustafson, 1998; Mcgarigal et al., 2002). Para describir los cambios estructurales en la conectividad y establecer el grado de fragmentación del paisaje el nivel de análisis más apropiado corresponde al de clase (tipo de cobertura) (Correa Ayram et al., 2014). El nivel de clase hace referencia al análisis de cada uno de los tipos de cobertura natural y seminatural definidas. la mayoría de las métricas en este nivel se pueden interpretar como índices de fragmentación dado que miden la configuración de los distintos tipos de cobertura en el paisaje (Gustafson, 1998).

Concedido esto, para este estudio se tuvieron en cuenta las unidades de cobertura vegetal de tipo natural y seminatural identificadas por medio de la metodología CORINE Land Cover para de esta manera estimar las métricas de clase y paisaje. De este modo, para el análisis de fragmentación y conectividad se estimaron métricas en el nivel de parche, clase y paisaje, haciendo un mayor énfasis en las métricas a nivel de clase. El análisis a nivel de clase parte de la estimación de métricas a nivel de cobertura, que para este caso corresponden a las coberturas naturales y seminaturales definidas (Ver Figura 10 y Figura 11).

En tanto que, en el nivel de paisaje se estimaron métricas para todos los parches de cobertura, y en el nivel de parche, se estimaron métricas por cada fragmento para de este modo representar su dinámica en torno al tamaño (AREA), forma (SHAPE), dimensión fractal (FRAC), distancia euclidiana al vecino de su misma clase (ENN), área núcleo (CORE), índice de área núcleo (CAI), radio de giro (GYRATE), aislamiento (PROX) y perímetro, ver Tabla 15 y Tabla 16. En este orden de ideas, se presentaron los resultados en términos de composición, forma, configuración y conectividad en los distintos niveles de análisis. Se calcularon para este

caso un total de 19 métricas en el nivel de clase y 23 métricas en el nivel de paisaje, como se puede apreciar en la Tabla 4 a Tabla 17.

Para la estimación de métricas, las coberturas de la tierra identificadas para el área de estudio fueron rasterizadas mediante el programa QGIS versión 3.34.4, usando una resolución de cinco (5) metros a un (1) metro para la transformación de la capa vectorial, teniendo en cuenta la resolución de la imagen satelital de cada temporalidad. El formato ráster generado para el análisis fue de tipo GeoTIFF grid (\*.tif). A partir del ráster de coberturas, se estimaron métricas a nivel de clase y de paisaje mediante el programa FRAGSTAT Versión 4.2 (Mcgarigal et al., 2002), este es un programa de dominio público el cual desarrolla cálculos estadísticos espaciales, para cuantificar la composición, configuración y conectividad de objetos espaciales de una imagen ráster (Cabacinha & Castro, 2009).

Para la estimación del efecto de borde se estableció una longitud de 20 metros medidos desde el borde del fragmento hasta el límite con el área núcleo. Este valor fue definido debido a que corresponde al área promedio de penetración de factores tensionantes de tipo antrópico, la cual fue definida a criterio del investigador con base a las condiciones del área de estudio.

La obtención de métricas se realizó bajo el supuesto de la regla de vecindad de ocho (8) vecinos, con el fin de definir los fragmentos y sus límites (Mcgarigal et al., 2002). La matriz importada al programa para la descripción de las clases de cobertura tuvo en cuenta los valores numéricos asignados a cada tipo de cobertura mediante la metodología CORINE Land Cover, así como sus símbolos correspondientes.

Es importante adicionar que de acuerdo con los lineamientos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), para cada fragmento de ecosistema natural y vegetación secundaria puede establecerse su tamaño e índice de tamaño efectivo de malla (MESH), el cual es fácil de estimar y tiene propiedades matemáticas que lo hacen útil como índice de conectividad, es decir como índice inverso de fragmentación (*mayor tamaño efectivo de malla corresponde a menor fragmentación y viceversa*). Este índice puede aplicarse al área de estudio en su conjunto (sin distinguir tipos de hábitats) o por separado a cada tipo de hábitats de interés (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2018).

Este índice fue estimado en el programa FRAGSTAT Versión 4.2 de acuerdo con la siguiente ecuación (tamaño efectivo de malla):

**Ecuación 1** Estimación métrica MESH

$$M_{meff}(j) = \frac{1}{A_{tj}} \sum_{i=1}^n A_{ij}^2$$

n = número de parches sin fragmentar en la unidad de planeación j

A<sub>ij</sub> = Tamaño del parche i dentro de la unidad de planeación jk

A<sub>tj</sub> = Tamaño total de la unidad de planeación j

Se resalta que las métricas de composición y forma también permiten evidenciar los

efectos sobre las coberturas naturales y seminaturales a lo largo de los años, por ello forman parte integral del análisis de fragmentación.

### **Conectividad ecológica**

La conectividad ecológica puede ser valorada desde dos componentes fundamentales, el primero corresponde al componente estructural que lo determina el patrón espacial y la forma de conexión de los diferentes tipos de hábitat (parches) o coberturas del paisaje, en tanto que el componente funcional se asocia a la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje, siendo influenciados por las características del hábitat, el grado de tolerancia a ambientes alterados y la fase de vida (Alonso-F. et al., 2017; Bennett, 2004).

Con base en ello, se valoró la conectividad estructural en función de la configuración de los parches de cobertura natural y seminatural del área urbana, los cuales, favorecen el desplazamiento de la fauna, y por otra parte, se valoró la conectividad funcional reflejando los nichos de las especies en el paisaje urbano, para de esta manera definir su distribución espacial o su patrón de ocurrencia conforme con la presencia de cuerpos de agua, vías, topografía del terreno, altura, infraestructura antrópica, el arbolado urbano y las coberturas.

Para la estimación del índice de conectividad (CONNECT), los umbrales de distancia que requiere el programa FRAGSTAT Versión 4.2 para el cálculo de esta métrica corresponden al espacio entre un fragmento y otro para así determinar la conectividad estructural, este umbral es definido a criterio del investigador de acuerdo con sus objetivos y los organismos de estudio,

---

en este caso, se utilizó un amplio intervalo de umbrales de distancia con fines comparativos de manera que se puedan abarcar todos los requerimientos de movimiento de la fauna silvestre (Alonso-F. et al., 2017).

En este sentido, se seleccionaron los umbrales de distancia para la estimación de la métrica de conectancia (CONNECT) de la siguiente manera: 500, 1000, 2000, 4000 y 6000 metros, debido a que el área de estudio cuenta con una extensión aproximada de 6 kilómetros, medidos desde sus límites más lejanos en los distintos planos de observación, por lo que se consideró apropiada esta escala de análisis. Por otra parte, para el análisis de configuración de parches en el paisaje, se empleó un radio de análisis de 1000 metros alrededor de cada fragmento.

En este caso, se estimó la conectividad estructural para todas las clases de cobertura natural y seminatural identificadas en el área, en cada uno de los umbrales de distancia definidos, para de esta manera definir los parches o coberturas que más aportan en la conectividad o que constituyen corredores biológicos tomando en consideración los aspectos de la forma de los parches. Complementariamente, los resultados de las métricas de configuración de parches permitieron definir el patrón de conectividad estructural.

Por otra parte, los criterios de selección de los grupos biológicos para la evaluación de la conectividad funcional corresponden a comunidades o poblaciones con especies emblemáticas, con interés para la conservación, características ecológicas contrastantes e información disponible (estructura y composición); con base en ello, se seleccionaron algunas especies de los

cuatro grupos biológicos (aves, mamíferos, anfibios y reptiles) para el análisis de la conectividad funcional, contemplando aquellas con una mayor ocurrencia dentro del área, verificando su nivel de amenaza o endemismo.

Para la valoración de la conectividad funcional existen diversos métodos que incluyen la predicción de nicho, calidad de hábitat y corredores de movimiento, así como la modelación de corredores de conectividad entre áreas de interés. A continuación, se presentan algunas de las metodologías más empleadas para dichos análisis, siendo elegidas algunas de ellas partiendo de las características del área de estudio y las especies presentes, lo cual será validado una vez se cuente con la información secundaria.

**Tabla 3** Metodologías más empleadas en modelación de conectividad y nicho

Programa	Método
Corridor designer	Idoneidad de hábitat y modelación de corredores
Gnarly Landscape Utilities	Resistencias
Linkage Mapper	Corredores de movimiento
MaxEnt 3.4.1k	Modelación de nicho

Fuente: *Elaboración propia*

**Resistencias y corredores de movimiento:** se validó el uso de modelos de calidad de hábitat a partir de las resistencias dadas por coberturas, zonas transformadas o artificializadas, ello a partir de la valoración de los requerimientos ecológicos de las especies seleccionadas para el análisis. Para la construcción de estos modelos, se identifican las áreas núcleo o zonas de

interés para modelar corredores biológicos a partir de mapas de aptitud o calidad de hábitat por medio de la herramienta Gnarly Landscape Utilities<sup>1</sup> del software ArcGIS, el cual genera una capa ráster de resistencia del paisaje basada en la robustez y la idoneidad del hábitat (Mcrae, Shirk & Platt, 2013; Maillard et al., 2020).

Las variables que emplea dicho ejercicio corresponden a las pendientes dadas por el Modelo Digital del Terreno -DEM- categorizado en rangos de altura de 500 m, pendiente en cuatro rangos (0-25°, 25-45°, 45°-75°, >75°), las coberturas de la tierra a partir de la metodología CORINE Land Cover (Bosques y áreas seminaturales, territorios agrícolas, territorios artificializados, áreas húmedas y superficies de agua con sus respectivas subcategorías), afluentes y las barreras antrópicas como vías (primarios, secundarios, terciarios), presencia de proyectos lineales, entre otras. Así, se elabora el ráster de resistencia asumiendo una mayor resistencia del paisaje con mayor robustez, asignando a cada variable valores entre 0 (sin resistencia) a 100 (máxima resistencia), en tanto que, para el mapa de idoneidad del hábitat, se asignan valores de 0 (menor idoneidad) a 1 (mayor idoneidad).

Es así como, los corredores o rutas de movilidad costo de las poblaciones de especies de interés seleccionadas es determinada con la herramienta Linkage Mapper<sup>2</sup> del software ArcGIS, que determina los enlaces de menor costo de rutas de movimiento (cost weighted) entre las áreas núcleo identificadas a partir del análisis de composición del paisaje o clases de cobertura (Mcrae

---

<sup>1</sup> <https://circuitscape.org/gnarly-landscape-utilities>

<sup>2</sup> <https://www.circuitscape.org/linkagemapper>

& Kavanagh, 2011), en este caso, entre las áreas protegidas o áreas de mayor importancia para la conservación como parches de cobertura natural. Por último, a los corredores identificados por Linkage Mapper se les asigna en el software ArcGIS un área de amortiguamiento de entre 200 a 1 km a cada lado en base al tamaño promedio del rango de hogar de las especies (Mcbride & Thompson, 2018).

En este caso puntual, todas las metodologías expuestas con anterioridad fueron evaluadas a través de mesas de expertos de fauna para luego elegir la más optimas en términos de representación de la conectividad funcional y corredores de movimiento, también dependiendo de las especies registradas en campo o a partir de información secundaria (Ver Anexo B: registros GBIF y Datos de entrada con las calificaciones de resistencias para cada uno de los criterios evaluados), los impactos identificados, las condiciones del ecosistema, y requerimientos ecológicos de las especies.

En este sentido, las metodologías que más se adecuaron con los intereses del estudio y las especies seleccionadas fueron la metodología de cálculo de resistencias y corredores de movimiento a través de Linkage Mapper, generándose modelos para especies de interés como *Synallaxis subpudica* (Pijú de Cundinamarca) y *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero), existiendo la posibilidad de agregar una especie nueva partiendo de la identificación de otro tipo de organismo acuático que habite permanentemente en el humedal, con es el caso de *Porphyriops melanops* (Polla sabanera) (Ver datos de entrada y salida de las herramientas de ArcMap en el Anexo B).

---

Respecto a estos modelos de conectividad funcional, se cuenta con cierta “*incertidumbre de la información*”, ya que la modelación de especies o grupos biológicos particulares no representarían la calidad del hábitat de un ecosistema o las dinámicas de movilidad de las especies en un escenario real, pues éstas dependen de las condiciones del hábitat, de las dinámicas de movilidad y comportamiento de las especies. Asimismo, existen condiciones de los ecosistemas que alteran sus estrategias de supervivencia, las cuales, no pueden ser modeladas a partir de cartografía e información secundaria. Y como bien su nombre lo indica, son modelos predictivos que cuentan con cierto grado de incertidumbre.

Además, por más que se aumente la cantidad de variables o criterios para la modelación de nicho, las especies tienen dinámicas etológicas diferenciadas y la adaptabilidad depende de las condiciones del ecosistema, siendo parámetros que no son posibles de incluir en la modelación, como por ejemplo la altura de la vegetación, la depredación, la frecuencia de cacería, quemadas, incendios, frecuencia de atropellamiento en vías, entre otras.

## 7. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados de la interpretación de coberturas de la tierra a partir de imágenes satelitales de escenarios superiores a diez años de antigüedad y del escenario actual. Al igual, los cálculos de las métricas de parche, clase y paisaje para establecer el grado de fragmentación en las temporalidades analizadas. Seguidamente se presentan los modelos de calidad de hábitat o resistencias que permitieron definir las rutas de movimiento de las especies *Synallaxis subpudica* (Pijuí de Cundinamarca), *Porphyriops melanops* (Polla sabanera) y *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero).

### 7.1 Coberturas de la tierra

En esta sección se presentan las coberturas de la tierra identificadas a través de la metodología CORINE Land Cover para el año 2010 y año 2024 (Ver Figura 10 y Figura 11). Para el análisis de fragmentación y conectividad ecológica (estructural y funcional) se contempló el estudio de coberturas transformadas y seminaturales como el caso de las **zonas verdes urbanas, rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja, plantaciones forestales y pastos arbolados** (Ver la descripción de cada tipo de cobertura en el Anexo C, coberturas, leyenda nacional de coberturas del IDEAM).

Ello debido a que sus condiciones de estructura y composición florística permiten el establecimiento de nichos para la fauna, constituyen fragmentos de bosque que aportan en la conectividad espacial, siendo los únicos nichos remanentes del paisaje, y de aquí radica la

importancia para el análisis de su funcionalidad en la conectividad ecológica y el grado de transformación a lo largo del tiempo a causa de las actividades, obras o proyectos que se han desarrollado en el sector.

Es de agregar que debido al ámbito del área de estudio, el cual reúne un paisaje urbano, no se identificaron coberturas naturales, y pese a que se registren algunas especies nativas, la estructura de los fragmentos o parches han sido transformados, y como tal, no son considerados como áreas de bosque primario (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a).

Ciertamente, se analizan los pastos arbolados y las rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas debido a la presencia de especies vegetales que a pesar de encontrarse disgregadas aportan en la conectividad espacial y funcional para algunas especies de fauna, además porque son frecuentadas por algunas de las especies registradas en GBIF.

También se vinculan las zonas verdes urbanas al contener especies de flora que son hábitat o sumidero de especies de aves, al tratarse de corredores ecológicos como el caso de las coberturas del corredor de la autopista norte que, a pesar de encontrarse aisladas por barreras como las vías, aun ostentan nichos a las especies y funcionan como zonas de paso de especies migratorias como *Tyrannus melancholicus*, *Colibri coruscans*, *Chaetocercus mulsant* y *Bubulcus ibis*.

Se añade que las zonas pantanosas o vegetación acuática solamente fueron evaluadas en

la conectividad funcional debido a que no abarcan especies arbóreas que puedan ser analizadas como parches a través del programa empleado.

A continuación, se presentan la totalidad de coberturas identificadas en el área de estudio, las cuales involucran estos nichos para la fauna y flora que fueron analizadas en términos de fragmentación y conectividad ecológica.

**Fotografía 6** *Pastos arbolados*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885386,63 N 2089604,40*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 7** *Vegetación secundaria alta*



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba*

*Coordenadas: E 4884576.779 N 2089182.211*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 8** *Zonas verdes urbanas*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885178.935 N 2089889.205*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 9** Zonas pantanosas



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884777.744 N 2086978.685*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 10** Plantación forestal



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba*

*Coordenadas: E 4884649 N 2089534*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 11** Pastos arbolados



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba urbano*

*Coordenadas: E 4885061,59 N 2089711,85*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 12** Vegetación secundaria baja



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba urbano*

*Coordenadas E 4884697 N 2088714*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 13** Tejido urbano discontinuo



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba urbano*

*Coordenadas: E 4884190,57 N 2088249,68*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 14** Zonas industriales o comerciales

*(Colegios y universidades)*



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba urbano*

*Coordenadas: E 4884051,55 N 2088562,33*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 15** Pastos limpios



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885409,09 N 2088120,74*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 16** Vegetación acuática sobre cuerpos

*de agua*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884777,40 N 2086911,38*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 17** Zonas industriales y comerciales



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba*

*Urbano*

*Coordenadas: E 4884957,47 N 2089196,72*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 18** *Lagunas, lagos y ciénagas naturales*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Tibabita rural*

*Coordenadas: E 4884814,24 N 2086619,71*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 19** *Canal Guaymaral*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884637,99 N 2086689,81*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 20** *Pastos enmalezados*



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba*

*Coordenadas: E 4884429,40 N 2089043,09*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 21** *Instalaciones recreativas*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885400,56 N 2088603,28*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 22** *Instalaciones recreativas*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885076,88 N 2089243,34*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 23** *Cuerpos de agua artificiales*



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca Suba*

*Urbano*

*Coordenadas: E 4884518,58 N 2087015,52*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 24** *Red ferroviaria y territorios asociados*



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885671,39 N 2086747,99*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 25** Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas



*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba urbano*

*Coordenadas: E 4884679,11 N 2089554,40*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 26** Mosaico de cultivos



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4885092,07 N 2088623,58*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 27** Parques cementerio



*Localidad: Usaquén - Barrio: Tibabita Rural*

*Coordenadas: E 4884032,98 N 2088455,27*

*Fuente: el autor*

**Fotografía 28** Tejido urbano continuo

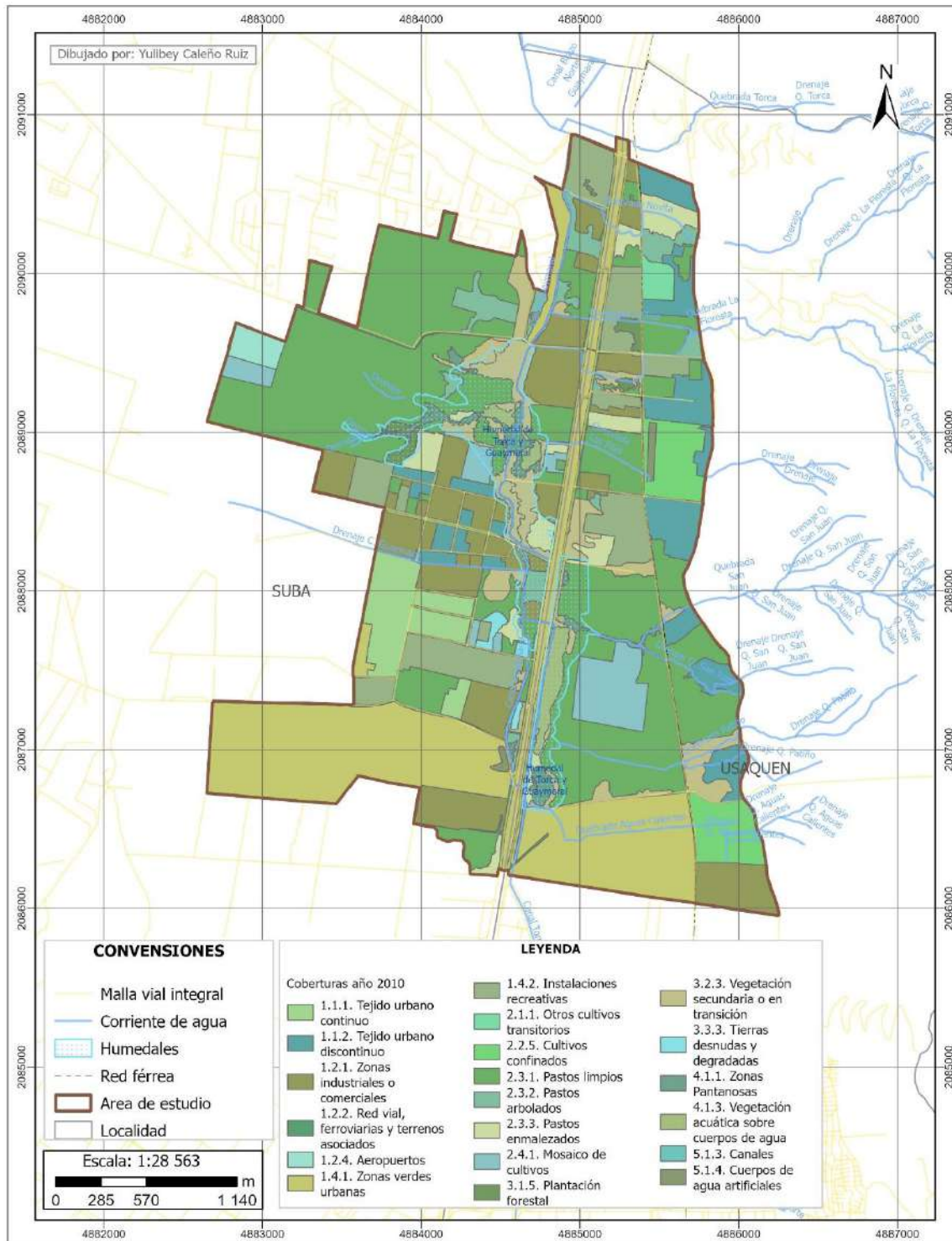


*Localidad: Suba - Barrio: Casablanca suba urbano*

*Coordenadas: E 4884395,09 N 2088591,97*

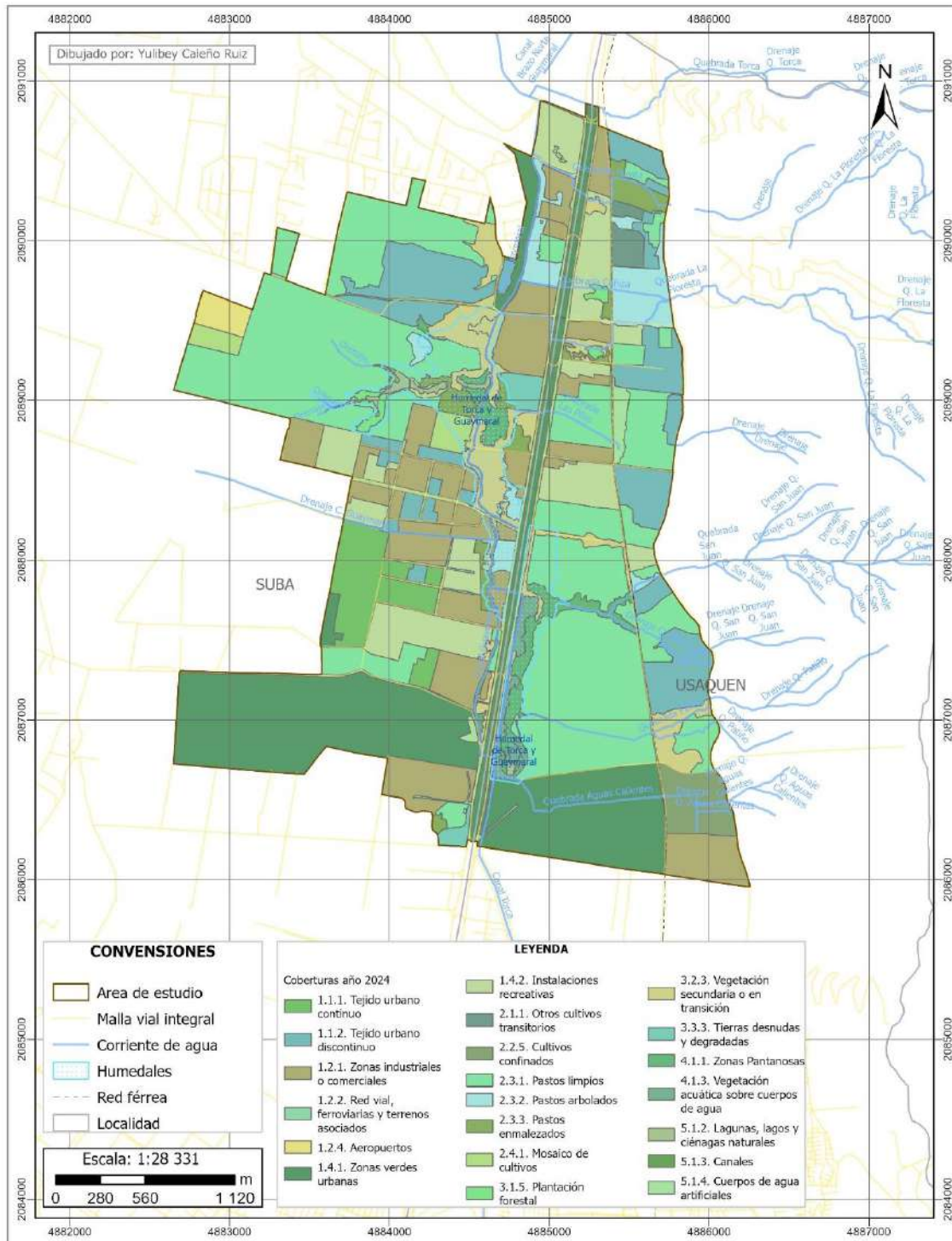
*Fuente: el autor*

Figura 10 Coberturas de la tierra en el año 2010



Fuente: el autor

Figura 11 Coberturas de la tierra en el año 2024



Fuente: el autor

## 7.2 Fragmentación

En esta sección se presentan los resultados de las métricas de fragmentación que reúnen aspectos de cambios en la composición de fragmentos vegetales, su forma, borde, área núcleo y estructura a partir de las modificaciones antrópicas. Los datos de entrada del programa Fragstat y los resultados son relacionados en el Anexo A.

### 7.2.2 Métricas de composición

En el paisaje actual, las coberturas que ocupan la mayor extensión en el área de estudio son las Zonas verdes urbanas (Zvu) abarcando 31,44 hectáreas (PLAND= 2,97%), en segundo lugar, se encuentran los Pastos arbolados (Pa) con 29,97 hectáreas (PLAND= 2,83%) y en tercer lugar se encuentran la Vegetación secundaria alta (Vsa) con 28,25 hectáreas (PLAND= 2,67%). Por su parte, la Vegetación secundaria baja (Vsb) abarca 22,66 hectáreas (PLAND= 2,14%), registrándose una baja representatividad de la Plantación forestal (Pf) (PLAND= 0,43%), al igual que las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas (Rcu) (PLAND= 0,68%), tal como puede apreciarse en la Tabla 5, Gráfica 1 y Gráfica 2. Concedido esto, las coberturas seminaturales identificadas tienen una muy baja representatividad en el paisaje objeto de estudio (11,70%).

Actualmente, el mayor número de parches pertenece a la cobertura de Vegetación secundaria baja con 12 parches (PD= 1,13 parches/100ha), seguido de la Vegetación secundaria alta con 8 parches y una densidad de 0,75 parches/100ha, siguen las Zonas verdes urbanas con un

total de 7 parches, la cual, también cuenta con una mayor densidad de parches por unidad de área (PD= 0,66 parches/100ha), le siguen los pastos arbolados con 7 parches (PD= 0,66 parches/100ha). Las coberturas con una menor densidad y cantidad de parches son la plantación forestal con 3 parches (PD= 0,28 parches/100ha) y las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas con dos parches (PD= 0,19 parches/100ha) (Ver Tabla 5, Tabla 7, Gráfica 3 y Gráfica 4).

De esta manera, la vegetación secundaria alta y baja y las Zonas verdes urbanas constituyen los parches más representativos en el área de estudio los cuales son fuente o áreas núcleo de las especies de fauna, tal como se registra en el GBIF para las especies de interés de este estudio.

**Fotografía 29** Zonas verdes urbanas (Zvu) – Remanentes del humedal en el corredor de la autopista norte



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884847,07 N 2087910,91*

*Fuente: el autor*

Se resalta que en el año 2010 las coberturas seminaturales o transformadas de Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, Pastos arbolados y Vegetación secundaria alta presentaban una menor extensión en comparación con el escenario actual, lo que es indicativo de eventos sucesionales. En tanto que las coberturas de Plantación forestal y Vegetación secundaria baja presentaban una mayor extensión en el año 2010 lo que refleja alteraciones antrópicas en sus parches remanentes, ver Tabla 5, Gráfica 1 y Gráfica 2.

Con ello se asegura que a lo largo de los años se generó una ampliación de la frontera agropecuaria e infraestructura en algunos sectores del paisaje, motivo por el cual estas coberturas presentaron una reducción en su extensión total a lo largo del tiempo, así como también se evidencian procesos sucesionales que conllevaron al aumento de las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, Pastos arbolados y Vegetación secundaria alta. Mientras que las Zonas verdes urbanas se mantuvieron en similares condiciones en el transcurso del tiempo.

De igual forma, del año 2010 al 2024, se presenta una reducción en el número y densidad de parches de las coberturas de Pastos arbolados, plantación forestal y Vegetación secundaria alta. En tanto que las coberturas de Vegetación secundaria baja, Zonas verdes urbanas y Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas se mantuvieron en similares condiciones de cantidad de fragmentos (Ver Tabla 5 y Gráfica 3). Con base en ello se aprecian a lo largo de los años procesos de afectación antrópica en las coberturas como resultado de la ampliación de la frontera agropecuaria e infraestructura.

**Tabla 4** Descripción de las métricas de composición (sección 1)

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
CA/TA	ha	Área de la clase/Área total	CA: Corresponde al área (ha) que ocupa la clase o cobertura en el área total del paisaje. TA: Corresponde al área total del paisaje (Marín Valencia et al., 2008).
PLAND	(%)	Porcentaje del paisaje	Porcentaje (%) ocupado por un tipo de cobertura en el total del paisaje. El valor se aproxima a 0 cuando el tipo de cobertura disminuye su área y se acerca a 100 cuando domina el total del paisaje (M. G. Turner, 1990).
NP	Unidad	Número de parches	Corresponde al número de parches de un mismo tipo de cobertura, para un análisis a nivel de clase (Marín Valencia et al., 2008). A nivel de paisaje, corresponde al número total de parches en el área de estudio.

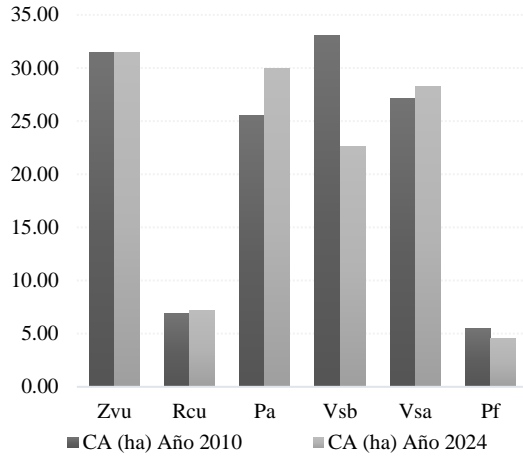
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 5** Métricas de composición (sección 1)

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	CA (ha)		PLAND (%)		NP (#parches)	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	31,44	31,44	2,97	2,97	7	7
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	6,86	7,16	0,65	0,68	2	2
Pastos arbolados	Pa	25,54	29,97	2,41	2,83	13	7
Vegetación secundaria baja	Vsb	33,02	22,66	3,11	2,14	12	12
Vegetación secundaria alta	Vsa	27,18	28,25	2,56	2,67	10	8
Plantación forestal	Pf	5,45	4,58	0,51	0,43	4	3
<b>Total</b>		<b>129,47</b>	<b>124,05</b>	<b>12,21</b>	<b>11,70</b>	<b>48</b>	<b>39</b>

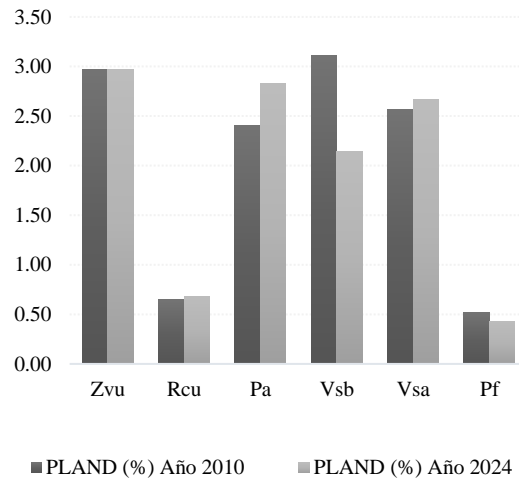
Fuente: el autor

**Gráfica 1** Área de la clase/Área total



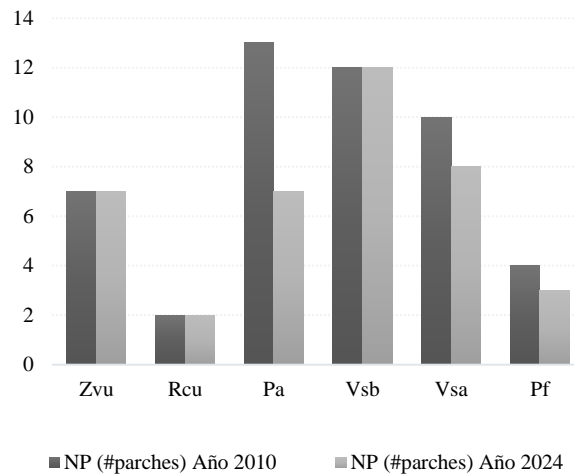
Fuente: el autor

**Gráfica 2** Porcentaje del paisaje



Fuente: el autor

**Gráfica 3** Número de parches



Fuente: el autor

En el escenario actual, el fragmento o parche de mayor tamaño corresponde a la cobertura de Vegetación secundaria alta (LPI=1,10%), le sigue las Zonas verdes urbanas (LPI=0,95%) y la Vegetación secundaria baja (LPI=0,77%), ocupando una mayor proporción en el paisaje comparado con los demás fragmentos. Por otra parte, los parches con mayor longitud de borde (perímetro) corresponden a la cobertura de Vegetación secundaria alta (TE= 1725 metros; ED= 1,63ha-1), la Vegetación secundaria baja (TE= 1440 metros; ED= 1,36 metros ha-1) y los Pastos arbolados (TE= 1150 metros; ED= 1,08 metros ha-1) (Ver Tabla 7 y Gráfica 6).

Lo anterior guarda relación con los resultados de las métricas de forma, debido a que estos parches presentan las formas más irregulares y elongadas, así como menor efecto de borde (Ver Tabla 13), pero también debido a que presentan una gran cantidad de parches y mayor tamaño promedio (Ver Tabla 5). Por su parte las Zonas verdes urbanas presentan un menor borde debido a que son parches muy elongados con formas poco complejas, lo que promueve un mayor efecto de borde en las zonas perimetrales (Ver Gráfica 9), al igual que las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas. Mientras que la Plantación forestal al poseer formas más irregulares y un tamaño regular, presentan un valor moderado de longitud de borde, pese a su baja cantidad de parches (Ver Tabla 7, Gráfica 6 y Gráfica 7).

Del año 2010 a la actualidad se pueden apreciar cambios en los parches más grandes, en particular las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, Vegetación secundaria alta, la Plantación forestal y la Vegetación secundaria baja, ver Tabla 7 y Gráfica 5, lo anterior como resultado de la sucesión natural y eventos antrópicos. Por otra parte, los parches de mayor extensión de las coberturas de Zonas verdes urbanas no reflejan cambios significativos desde el

año 2010 al 2024 en términos de extensión.

También se aprecia una reducción del borde, densidad de borde y perímetro de parches de las coberturas seminaturales de Pastos arbolados, Vegetación secundaria alta y Vegetación secundaria baja, Paralelamente, las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas presentaron una reducción de su borde, siendo el valor menos representativo y de mayor sensibilidad, a diferencia de la plantación forestal y las zonas verdes urbanas que se mantuvieron en condiciones similares, tal como se aprecia en la Tabla 7, Gráfica 6 y Gráfica 7.

**Tabla 6** Descripción de las métricas de composición (sección 2)

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>PD</b>	(#parches/100ha)	Densidad de parches	Número de fragmentos de un tipo de cobertura en 100 hectáreas. El valor mínimo de NP ocurre cuando el total del paisaje es dominado por un solo fragmento que ocupa toda el área del mismo (Franklin & Forman, 1987; Saura & Martinez-Millan, 2001).
<b>LPI</b>	(%)	Índice del fragmento más grande	Porcentaje (%) que ocupa el fragmento más grande de cada tipo de cobertura en el total del paisaje, si se calcula en el nivel de clase, de lo contrario corresponde al porcentaje que ocupa el fragmento más grande en el total del paisaje. El valor se aproxima a 0 cuando el área de fragmento más grande de la clase es muy pequeña y es igual a 100 cuando el total del paisaje consiste en un solo fragmento que ocupa el 100% del área del mismo (Forman, 1995; Saura & Martinez-Millan, 2001; With & King, 1999).
<b>TE</b>	<b>m</b>	Total, de borde	Corresponde a la suma de las longitudes de borde de todos los fragmentos que involucran el tipo de cobertura (Santos et al., 2016).

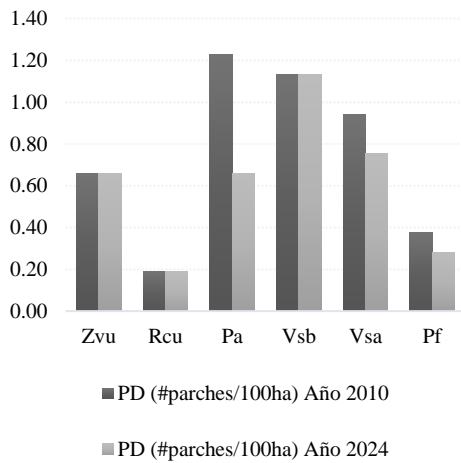
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 7 Métricas de composición (sección 2)**

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	PD (#parches/100ha)		LPI (%)		TE (m)	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	0,66	0,66	0,95	0,95	0	0
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	0,19	0,19	0,63	0,66	340	15
Pastos arbolados	Pa	1,23	0,66	0,60	1,33	1180	1150
Vegetación secundaria baja	Vsb	1,13	1,13	0,79	0,77	1785	1440
Vegetación secundaria alta	Vsa	0,94	0,75	0,92	1,10	2375	1725
Plantación forestal	Pf	0,38	0,28	0,21	0,27	310	310

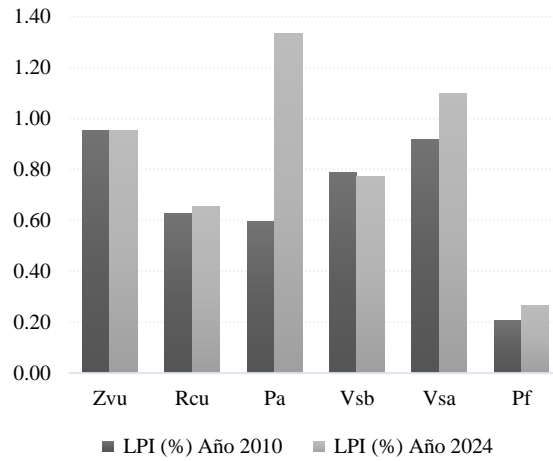
Fuente: el autor

**Gráfica 4 Densidad de parches**

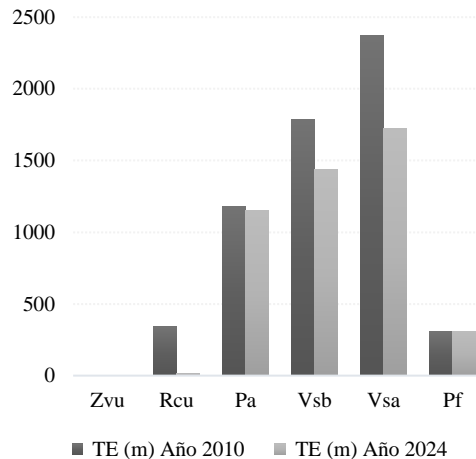


Fuente: el autor

**Gráfica 5 Índice del fragmento más grande**



Fuente: el autor

**Gráfica 6** Total de borde

*Fuente: el autor*

En el paisaje actual, el tamaño promedio de los parches oscila entre 1,53 y 4,49 hectáreas, siendo superiores para las Zonas verdes urbanas (AREA\_MN= 4,49 ha) en este caso el corredor de la autopista norte, seguido de las rondas (AREA\_MN= 3,58 ha) y la Vegetación secundaria alta (AREA\_MN= 3,53 ha), cuyas condiciones son atribuibles parches urbanos tipo fuente. Por el contrario, las coberturas seminaturales que cuentan con pequeño tamaño promedio de parches son la Vegetación secundaria baja (AREA\_MN= 1,89 ha) y la Plantación forestal (AREA\_MN= 1,53 ha), ello como resultado de las condiciones de borde, perímetro, área núcleo o cantidad de parches. En cambio, los pastos arbolados presentan un tamaño promedio alto (AREA\_MN= 4,28 ha), sin embargo, no constituyen parches de vegetación (Ver Tabla 9 y Gráfica 8).

Del año 2010 al 2024 se pueden apreciar cambios en el tamaño promedio de los parches de cobertura seminatural con una tendencia a la reducción leve a moderada del tamaño promedio

de los fragmentos de la Vegetación secundaria baja los cuales se sometieron a eventos antrópicos en cercanía del humedal Guaymaral, y un aumento leve a moderado de las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, los Pastos arbolados, Plantación forestal y Vegetación secundaria alta (Ver Tabla 9 y Gráfica 8), ello con relación a los cambios en el número de parches y su extensión, reflejándose eventos de sucesión en dichos parches.

Estos cambios en el tamaño de los parches de coberturas pueden ser el resultado de los impactos antrópicos o procesos de sucesión natural que a lo largo de los años condicionaron la transformación de estas coberturas, pasando a tener parches de menor tamaño o que pasaron a conformar coberturas de mayor porte (Ver Tabla 9 y Gráfica 8).

**Tabla 8** Descripción de las métricas de composición (sección 3)

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>ED</b>	<b>m ha<sup>-1</sup></b>	Densidad de borde	Corresponde a la suma de las longitudes de borde de todos los fragmentos en el paisaje dividido por el total de área del paisaje (Santos et al., 2016). El incremento en este valor usualmente indica fragmentación de parches. Si el (CORE) ÁREA incrementa y ED decrece, aumenta la ocurrencia de los mismos, así como una expansión de los parches existentes (Babí Almenar et al., 2019).
<b>AREA (MN)</b>	<b>ha</b>	Área del fragmento	<p>AREA_MN: Corresponde al tamaño medio del fragmento. Muestra la superficie media de los parches individuales de cada tipo de cobertura (Aguilera, 2010).</p> <p>El coeficiente de variación (CV) describe el área viable usado como hábitat de especies especialistas. Una reducción en el ÁREA al nivel de clase usualmente indica incremento en la fragmentación de coberturas. El ÁREA a nivel de parche provee la dimensión de cada parche, haciendo uso del mismo raster empleado para el análisis a nivel de clase, el cual puede ser usado en combinación con los resultados a nivel de clase para verificar cuales parches se encuentran por</p>

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
			debajo del promedio ponderado de cada tipo de cobertura (Babí Almenar et al., 2019).

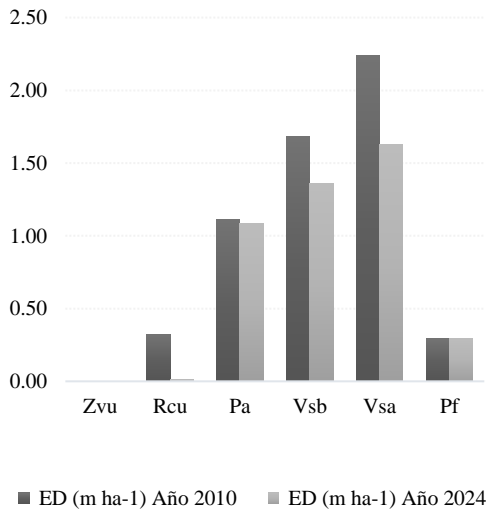
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 9 Métricas de composición (sección 3)**

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	ED (m ha-1)		AREA_MN (ha)	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	0,00	0,00	4,49	4,49
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	0,32	0,01	3,43	3,58
Pastos arbolados	Pa	1,11	1,08	1,96	4,28
Vegetación secundaria baja	Vsb	1,68	1,36	2,75	1,89
Vegetación secundaria alta	Vsa	2,24	1,63	2,72	3,53
Plantación forestal	Pf	0,29	0,29	1,36	1,53

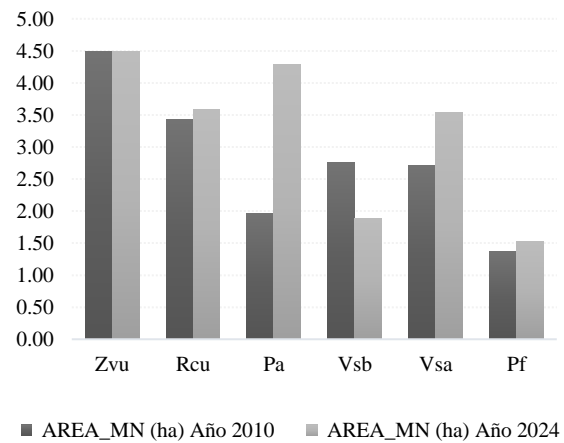
Fuente: el autor

**Gráfica 7 Densidad de borde**



Fuente: el autor

**Gráfica 8 Área promedio del fragmento**



Fuente: el autor

### 7.2.3 Métricas de borde

En el paisaje actual, las Zonas verdes urbanas presentan un menor efecto de borde (TCA= 18,92 hectáreas), le sigue la Vegetación secundaria alta (TCA= 16,90 hectáreas), ello relacionado una mayor proporción de área núcleo total, con el número de parches, mayor longitud de borde o mayor tamaño promedio de los fragmentos respecto a las demás coberturas. Por el contrario, las demás coberturas seminaturales se encuentran mayormente afectadas por el efecto de borde, relacionado con una menor extensión en el paisaje en comparación con las demás coberturas, ver Gráfica 9 y Tabla 11.

En el área de estudio el valor promedio de área núcleo oscila entre 0,75 a 2,70 hectáreas, siendo superior para las zonas verdes urbanas (CORE\_MN= 2,70, hectáreas; CAI\_MN=53,37%), las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas (CORE\_MN= 2,30, hectáreas; CAI\_MN=33,07%) y la Vegetación secundaria alta (CORE\_MN= 2,11 hectáreas; CAI\_MN=36,48%). Por este motivo, dichas coberturas fueron consideradas durante la modelación de corredores de menor costo para las especies de fauna seleccionadas, con el fin de identificar las rutas de desplazamiento de la fauna entre zonas núcleo. Estos parches poseen dicha condición debido a su mayor cantidad de parches y mayor tamaño promedio (Ver Tabla 11, Gráfica 10 y Gráfica 11).

Las coberturas con un moderado a bajo tamaño promedio de área núcleo corresponden a las coberturas de Plantación forestal, Vegetación secundaria baja y los pastos arbolados, tal como

se aprecia en la Tabla 11, Gráfica 10 y Gráfica 11, por lo cual funcionarían en el paisaje como parches sumidero o zonas de tránsito temporal para la búsqueda de alimento por parte de la fauna urbana.

Los fragmentos de cobertura presentan entre 33,07% y 65,82% de área sin efecto de borde, siendo este valor correspondiente a la proporción del parche que es área núcleo y por tanto no sufre los efectos de borde. Dicho esto, los parches de cobertura seminatural cuentan con una baja a moderada proporción de área sin efecto de borde, con valores cercanos al 70% de área núcleo para la mayoría de las coberturas considerando una profundidad de borde de 10 metros, siendo así menormente influenciados por el efecto de borde en estas zonas núcleo.

Lo anterior se debe a que este paisaje se encuentra representado por una matriz antrópica, con parches de mediano y pequeño tamaño que cuentan con un área núcleo transformada, también al encontrarse poco representados en términos de cantidad de parches.

Del año 2010 al 2024 se puede apreciar una reducción en el área núcleo total y área núcleo promedio de la Plantación forestal y la Vegetación secundaria baja, con un incremento para las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas y la Vegetación secundaria alta como resultado de los eventos sucesionales (Ver Gráfica 9 y Tabla 11), mientras que las Zonas verdes urbanas se mantuvieron en condiciones similares.

Los anteriores cambios se son el resultado de modificaciones en la cantidad de parches, tamaño promedio, perímetro y extensión total, generados principalmente por eventos de

alteraciones antrópicas o eventos de sucesión. Es de resaltar que para el año 2010 la Plantación forestal y Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas contaban con una baja proporción de área núcleo, en cambio las Zonas verdes urbanas, Vegetación secundaria baja, Vegetación secundaria alta presentaban la mayor proporción de área núcleo, manteniéndose el mismo patrón a lo largo del tiempo, con algunas variaciones en las áreas núcleo como resultado de los impactos en los parches.

En cuanto al índice de área núcleo, este refleja que las coberturas seminaturales que se sometieron a un efecto de borde en tal periodo, dados los cambios en la composición de parches fueron la Plantación forestal y la Vegetación secundaria baja, ello debido a la reducción de su porcentaje de área núcleo. Contrario a ello, para los Pastos arbolados y Vegetación secundaria alta se aprecia un aumento en el porcentaje de área núcleo en dicho periodo como resultado de los eventos de sucesión. Mientras que las Zonas verdes urbanas y Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas mantuvieron un porcentaje de área núcleo similar.

Respecto a lo anterior se resalta que los efectos de borde que evidenciaron las coberturas del año 2010 al 2024 obedecen a impactos antrópicos por agricultura y ampliación de la infraestructura comercial e industrial. Para las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, Pastos arbolados y Vegetación secundaria alta obedecen a dinámicas sucesionales, las cuales generaron cambios en la extensión de las coberturas, su cantidad de parches y tamaño promedio, de igual forma podría hablarse de una recuperación de las zonas núcleo de la cobertura a lo largo de los años consecuente de los procesos de sucesión.

**Tabla 10** Descripción de las métricas de efecto de borde

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>TCA</b>	<b>ha</b>	Área núcleo total	Corresponde a la sumatoria de las áreas núcleo de los fragmentos del mismo tipo de cobertura para el análisis a nivel de clase. Para el nivel de paisaje corresponde a la sumatoria de áreas núcleo de todos los fragmentos (Santos et al., 2016).
<b>CORE (MN)</b>	<b>ha</b>	Área núcleo	Corresponde al área (m <sup>2</sup> ) dentro del parche que no sufre efecto de borde, dividido en 10.000 para convertirlo en hectáreas (Cabacinha & Castro, 2009). Es equivalente al promedio ponderado de la cantidad de área interna del parche de cada clase de cobertura; describe el área disponible como hábitat de especies especialistas teniendo en cuenta aquellas áreas externas del parche que no será usado por las mismas (Babí Almenar et al., 2019).
<b>CAI (MN)</b>	<b>(%)</b>	Índice de área núcleo	Corresponde al área núcleo del parche (m <sup>2</sup> ) dividido por el área total del fragmento (m <sup>2</sup> ) multiplicado por 100 para convertirlo en porcentaje; es igual al porcentaje de un parche que es área núcleo y por tanto no sufre efecto de borde (Cabacinha & Castro, 2009).

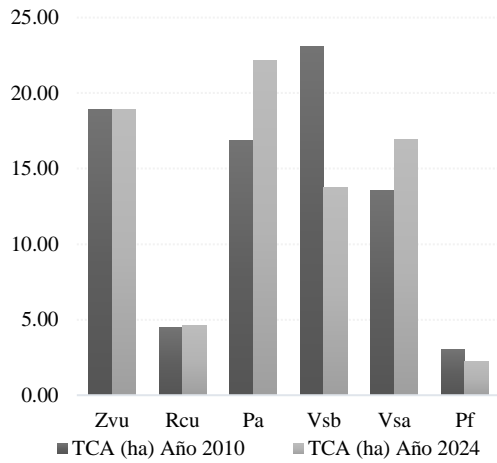
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 11** Efecto de borde y área núcleo

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	TCA (ha)		CORE_MN (ha)		CAI_MN (%)	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
<b>Zonas verdes urbanas</b>	<b>Zvu</b>	18,92	18,92	2,70	2,70	53,37	53,37
<b>Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas</b>	<b>Rcu</b>	4,50	4,60	2,25	2,30	33,84	33,07
<b>Pastos arbolados</b>	<b>Pa</b>	16,86	22,19	1,30	3,17	48,01	65,82
<b>Vegetación secundaria baja</b>	<b>Vsb</b>	23,11	13,74	1,93	1,15	59,02	34,92
<b>Vegetación secundaria alta</b>	<b>Vsa</b>	13,54	16,90	1,35	2,11	31,16	36,48
<b>Plantación forestal</b>	<b>Pf</b>	3,05	2,24	0,76	0,75	54,09	52,18

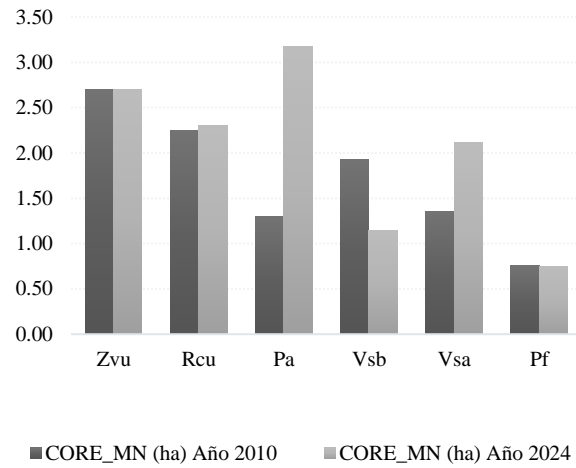
Fuente: el autor

**Gráfica 9** Área núcleo total



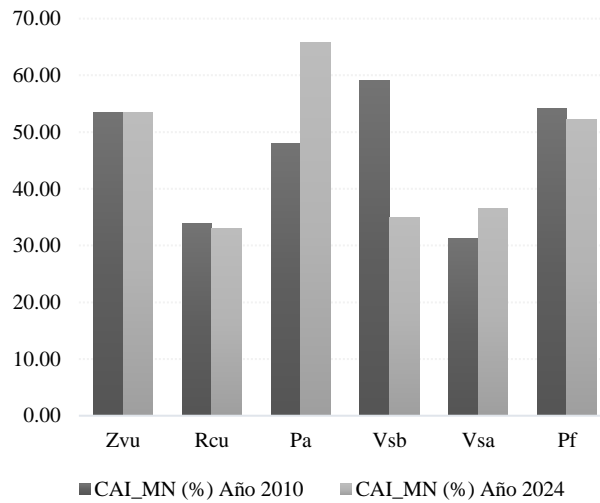
Fuente: el autor

**Gráfica 10** Área núcleo promedio



Fuente: el autor

**Gráfica 11** Índice de área núcleo



Fuente: el autor

## 7.2.4 Métricas de forma

Mediante la aplicación de métricas de forma se puede apreciar que en la actualidad los parches presentan formas moderadamente irregulares, con parches de mayor valor de esta métrica para la cobertura de Rondas de cuerpos de agua (SHAPE\_MN=3,21), las Zonas verdes urbanas (SHAPE\_MN=2,86) seguido de Vegetación secundaria alta (SHAPE\_MN=2,86), las cuales también presentan una mayor complejidad (FRAC\_MN= 1,18 a 1,26) (Ver Tabla 4, Gráfica 12 y Gráfica 13), este patrón se encuentra asociado a que estos parches de bosque presentan un mayor perímetro o borde, mayor elongación y menor área núcleo.

Le sigue la Vegetación secundaria baja y Plantación forestal (SHAPE\_MN= 2,25; FRAC\_MN=1,15) con formas regulares y moderadamente complejas (Ver Tabla 13, Gráfica 12 y Gráfica 13), en cambio los pastos arbolados tienden a tener formas más regulares y de menor complejidad, tendiendo a la forma de cuadrado, rectángulo o circular.

Seguidamente, las Zonas verdes urbanas, las rondas de cuerpos de agua y la Vegetación secundaria alta presenta los parches con formas más elongadas en comparación con las demás coberturas, seguido de la vegetación secundaria baja y plantación forestal con parches poco elongados (Ver Tabla 13 y Gráfica 14), encontrándose en sintonía con la métrica de forma. A su vez, los pastos arbolados suelen adquirir formas moderadamente elongadas.

Concedido esto, estas características de las zonas verdes urbanas, las rondas de

vegetación y la vegetación secundaria favorecen en la conectividad funcional y estructural, pero también pueden tratarse de corredores biológicos debido a su elongación, complejidad, formas irregulares o lineales (Ver Tabla 13, Gráfica 12, Gráfica 13 y Gráfica 14).

Del año 2010 al 2024 se puede apreciar un cambio leve en la forma de los parches de coberturas seminaturales con una tendencia a ser más irregulares y complejos en el escenario actual, a excepción de las coberturas seminaturales de la Vegetación secundaria baja y la Plantación forestal que reflejan cambios en valores unitarios de esta métrica (Ver Tabla 13, Gráfica 12 y Gráfica 13), ello debido a los procesos antrópicos y naturales, pasando a tener formas más complejas e irregulares.

En otro sentido, las coberturas seminaturales reflejan notorios cambios en su elongación a lo largo del tiempo pasando a tener parches más elongados para las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, los pastos arbolados, y la plantación forestal, en cambio las demás coberturas redujeron su elongación a lo largo del tiempo, como se evidencia para la vegetación secundaria baja (Ver Tabla 13 y Gráfica 14), lo cual obedece a los cambios en su forma, área núcleo y tamaño promedio a lo largo del tiempo. Mientras que las demás coberturas mantuvieron un mismo patrón de elongación (Zonas verdes urbanas y Vegetación secundaria alta) por lo cual no fueron afectadas a lo largo del tiempo.

A este punto se puede asegurar que el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial como el caso de la ampliación de carriles de la autopista norte, el proyecto de vivienda lagos de torca, la construcción de proyectos de servicios públicos de energía y acueducto pueden poner en

riesgo las zonas que se han recuperado a lo largo del tiempo por eventos de sucesión en las zonas colindantes con el humedal Torca – Guaymaral, así como promover el aumento de los efectos de borde identificados en las coberturas analizadas.

**Tabla 12** Descripción de las métricas de forma

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>SHAPE (MN)</b>	(--)	Índice de forma	El índice de la forma aporta información sobre la complejidad geométrica de los fragmentos. Mide la relación entre el perímetro de un parche y el perímetro que tendría el fragmento más simple de la misma área, de acuerdo con ello mayores valores de este índice reflejarían un incremento en la complejidad de sus formas. SHAPE_MN hace referencia en este caso al valor medio del índice de forma para fragmentos del mismo tipo de cobertura. Los valores del índice tienden a uno (1) cuando los fragmentos son más regulares y van incrementando a medida que se vuelven más irregulares, sin un límite superior. Hace referencia al grado de compactación y complejidad de los fragmentos (Aguilera, 2010; Alonso-F. et al., 2017).
<b>FRAC (MN)</b>	(--)	Índice de dimensión fractal	Es igual a dos veces el logaritmo del perímetro del parche (m) dividido por el logaritmo del área del parche (m <sup>2</sup> ); el perímetro es ajustado para corregir la parcialidad del raster en perímetros. Valores menores a uno indican formas poco complejas y mayores a 1 se relacionan a formas complejas (Cabacinha & Castro, 2009; Marín Valencia et al., 2008).
<b>GYRATE_(MN)</b>	(--)	Radio de giro	La compacidad media de los fragmentos ( <i>Mean Compaction</i> o GYRATE_MN), proporciona una idea de la compacidad de los diversos parches o de su elongación. Este corresponde al valor medio para todos los fragmentos de una misma cobertura del parámetro radio de giro (GYRATE). Este es calculado para cada fragmento como la distancia de cada píxel al centroide de dicho fragmento. Cuanto más similares a la forma del círculo son estos parches, menores serán los valores del GYRATE y mayor será su compacidad, en tanto que, un mayor valor reflejará una mayor elongación de los fragmentos (Aguilera, 2010).

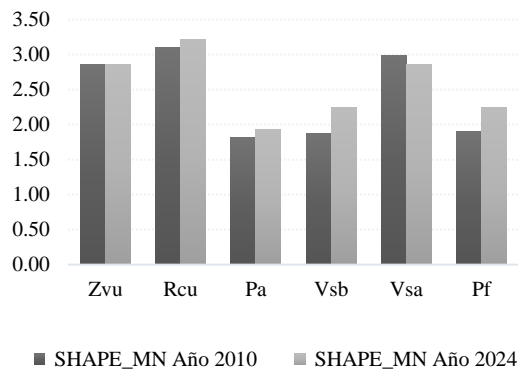
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 13 Métricas de forma**

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	SHAPE_MN		FRAC_MN		GYRATE_MN	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	2,86	2,86	1,18	1,18	232,49	232,49
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	3,11	3,21	1,25	1,26	155,66	160,14
Pastos arbolados	Pa	1,81	1,93	1,12	1,12	60,80	92,52
Vegetación secundaria baja	Vsb	1,87	2,25	1,13	1,18	78,54	71,51
Vegetación secundaria alta	Vsa	2,99	2,86	1,22	1,21	94,32	94,41
Plantación forestal	Pf	1,90	2,25	1,13	1,15	54,30	56,25

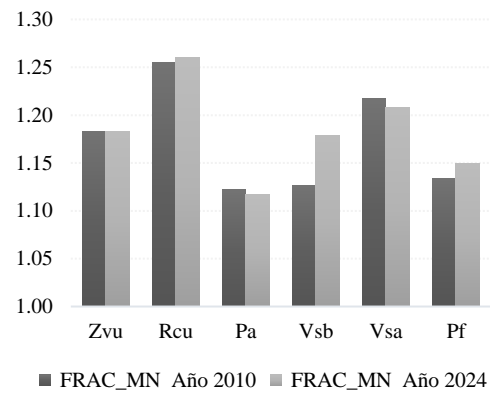
Fuente: el autor

**Gráfica 12 Índice de forma**

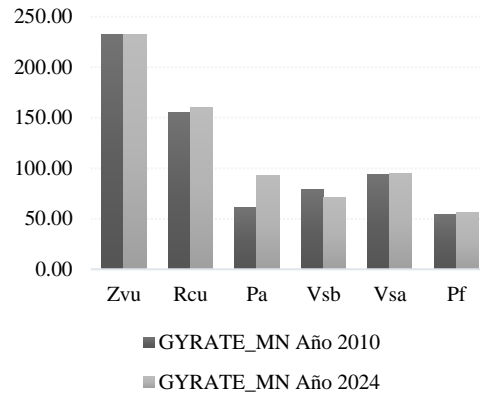


Fuente: el autor

**Gráfica 13 Índice de dimensión fractal**



Fuente: el autor

**Gráfica 14** *Radio de giro*

*Fuente: el autor*

## 7.2.5 Métrica de fragmentación

Es importante adicionar que de acuerdo con los lineamientos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), para cada fragmento de ecosistema natural y vegetación secundaria puede establecerse su tamaño e índice de tamaño efectivo de malla (MESH), el cual es fácil de estimar y tiene propiedades matemáticas que lo hacen útil como índice de conectividad, es decir como índice inverso de fragmentación (mayor tamaño efectivo de malla corresponde a menor fragmentación y viceversa).

Este índice puede aplicarse al área de estudio en su conjunto (sin distinguir tipos de hábitats) o por separado a cada tipo de hábitats que sea de interés (Términos de Referencia Para

La Elaboración Del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17, 2018). Partiendo de este argumento, se asegura que en el escenario actual el paisaje se encuentra fragmentado a causa de las actividades, proyectos u obras existentes en el territorio, caso tal de las actividades agrícolas, ganaderas, el comercio, la industria, los proyectos con infraestructura lineal (vías, gasoductos, redes de energía de alta, media y baja tensión), la infraestructura, entre otras.

En otro sentido, las actividades, obras o proyectos existentes en el paisaje han generado la pérdida significativa de hábitats, con una representatividad nula de coberturas naturales y una baja proporción de coberturas seminaturales (11,70%). Se define que se ha generado fragmentación de las coberturas naturales y seminaturales debido a que el valor del índice de tamaño efectivo de malla (MESH) fue de 0,86 para el escenario actual (Ver Tabla 14), siendo este valor inferior a los registrados para otros paisajes que cuentan con una mayor proporción de coberturas vegetales de tipo natural y seminatural como la Sierra Nevada de Santa Marta<sup>4</sup> con valores superiores a este valor (MESH=17,02).

De igual forma, las clases de cobertura seminatural presentan valores bajos de este índice, siendo las coberturas de zonas verdes urbanas y vegetación secundaria alta las que cuentan con la mayor representatividad en el paisaje. En este sentido, la plantación forestal, las rondas cuerpos de agua y la Vegetación secundaria baja, comprenden la menor representatividad y mayor grado de fragmentación (Ver Tabla 14 Gráfica 15).

---

<sup>4</sup> Proyecto UPME 10 – 2019 Línea de transmisión río Córdoba – Bonda (TERMOCOL) 220 kV, Tramo dos (2).

---

Entre el periodo de 2010 y 2024 se aprecia que la Vegetación secundaria baja (MESH= 0,14 y 0,10) tiende a aumentar su fragmentación, contrario a las demás coberturas que tienden a recuperarse en dicho periodo (Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, Pastos arbolados y Vegetación secundaria alta), con excepción de las Zonas verdes urbanas y Plantación forestal que se mantuvieron en las mismas condiciones.

No puede asumirse un proceso de ampliación de fragmentación del año 2010 al 2024 en las zonas de la Estructura Ecológica Principal pues a pesar de apreciarse cambios en la composición, borde, configuración y forma de los parches, el tamaño efectivo de malla total de las coberturas seminaturales no cambió negativamente en el nivel de paisaje en ambos escenarios, tendiendo a la recuperación (aumento de la métrica MESH o tamaño efectivo de malla) (Ver Tabla 14 Gráfica 15).

Sin embargo, en otras zonas colindantes con el humedal se aprecia la ampliación de la infraestructura antrópica, en especial en zonas de pastizales y áreas industriales o comerciales que, a pesar de no ser coberturas vegetales si reflejaron los cambios durante la interpretación de coberturas realizada (Ver Figura 7 y Figura 8).

Es decir que en las zonas de la Estructura Ecológica Principal (EEP) se tiende a la sucesión de las coberturas promovidos por su figura de protección, sin embargo, en los alrededores es evidente la ampliación de la infraestructura antrópica a lo largo del tiempo. Aspecto que puede aumentar con el desarrollo de proyectos de ampliación de la autopista norte,

la construcción de la red de alta tensión y el megaproyecto de vivienda Lagos de Torca que provocarían la reducción de las coberturas seminaturales remanentes, y como tal, afectarían la conectividad estructural y funcional que aportan las cercas vivas y corredores aledaños a estos predios.

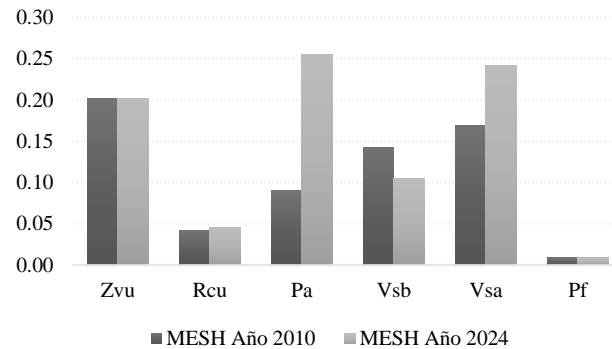
Con la métrica de fragmentación MESH se evidencia la ganancia de coberturas vegetales en estas zonas de la EEP dados estos eventos de sucesión natural a lo largo del tiempo, lo que permite asegurar que se redujo la fragmentación en dicho periodo en su interior, y como tal, se reflejan eventos de rehabilitación del ecosistema. Aspecto que puede verse comprometido por la proyección de estas infraestructuras antrópicas en sus alrededores.

**Tabla 14** Índice de tamaño efectivo de malla (MESH) en el nivel de clase y paisaje

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	MESH	
		Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	0,20	0,20
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	0,04	0,05
Pastos arbolados	Pa	0,09	0,25
Vegetación secundaria baja	Vsb	0,14	0,10
Vegetación secundaria alta	Vsa	0,17	0,24
Plantación forestal	Pf	0,01	0,01
<b>Total</b>		<b>0,65</b>	<b>0,86</b>

Fuente: el autor

**Gráfica 15** Índice de tamaño efectivo de malla para las coberturas



*Fuente: el autor*

## 7.2.6 Métricas de paisaje

El análisis a nivel de paisaje toma como partida la estimación de métricas para todos los parches de cobertura natural y seminatural sin discriminar por tipos de cobertura, en este caso, constituye una síntesis de las características de composición, configuración, forma y diversidad de todos los parches existentes en el paisaje analizado. Partiendo de estos análisis, se determinó en el escenario actual que, el fragmento más grande ocupa el 1,33% del área de estudio, evidenciándose un cambio desde el año 2010, donde había un parche de menor tamaño que sufrió modificaciones con el transcurso del tiempo.

Los parches de cobertura presentan un tamaño promedio de 3,18 hectáreas siendo valores superiores a los registrados en el año 2010, tendiendo a un aumento en el tamaño promedio de

parches y como tales eventos claros de sucesión, contando con formas simples o regulares dependiendo de cada tipo de cobertura. Estos valores de tamaño de fragmentos son considerados bajos en comparación con otros paisajes de Colombia que presentan una menor alteración. También se aprecia que, en el escenario actual, los parches son moderadamente elongados y tienden a ser un poco más elongados en comparación con el año 2010. Al igual, se aprecian cambios en el perímetro y borde de los parches a lo largo del tiempo conteniendo un menor borde en el escenario actual, ver Tabla 15 y Tabla 16.

El área núcleo total en la zona es de 78,59 hectáreas tratándose de un valor muy bajo en comparación con el área de estudio y levemente más bajo que en el año 2010, con un promedio de áreas núcleo de todos los parches de 2,02 hectáreas para el escenario actual, con un porcentaje aproximado de 45,33% de área que no es afectada por el efecto de borde, evidenciándose una tendencia al aumento del área núcleo promedio a lo largo del tiempo, con cambios el porcentaje de área núcleo, pues refleja reducción de dicho parámetro. Todo esto es indicativo de los efectos de borde, ello relacionado con el cambio en el tamaño promedio de los parches y el patrón de agregación, así como los eventos de sucesión que promovieron el aumento del área núcleo promedio, y como tal, se redujeron los efectos de borde en algunos parches.

La distancia euclidiana promedio a parches vecinos es de 231,74 metros para la actualidad, siendo indicativo de una moderada agregación o aislamiento de los parches (PROX=150,50). Estos valores son indicativos de una baja a moderada favorabilidad para la movilidad de especies de la fauna registrada, a excepción del grupo de aves que tiene una mayor facilidad de desplazamiento.

En el área de estudio registran un total de 39 parches de cobertura seminatural con una densidad de 3,68 parches/100ha, siendo estos valores inferiores al año 2010, con una tendencia a la reducción en la cantidad de parches en el escenario actual (Ver Tabla 15 y Tabla 16), evidenciándose un aumento de las alteraciones antrópicas en dicho periodo. Siendo notorio el aislamiento de algunos parches (ENN) y consecuentemente una mayor agregación de parches entre el año 2010 y 2024 (PROX). En otros casos, esta reducción de parches puede deberse a la recuperación por sucesión de algunas coberturas tendiendo a estar más agregadas.

También puede apreciarse cambios en la agregación, distancia promedio entre parches y el patrón de aislamiento del año 2010 al 2024, con parches de la misma clase más próximos entre sí y una mayor agregación de estos, ver Tabla 15 y Tabla 16.

La riqueza de parches (PR=6), refiere a las seis (6) clases de cobertura seminatural analizadas. De acuerdo con esto, se considera una muy baja o nula riqueza de parches de cobertura natural en este paisaje, debido a la presencia únicamente de coberturas seminaturales o transformadas (Ver Tabla 15 y Tabla 16). Ahora bien, del año 2010 al 2024 no se aprecian cambios significativos en la riqueza de coberturas, manteniéndose las mismas seis clases de cobertura a lo largo del tiempo.

El Índice de diversidad de Shannon (SHDI) refleja la diversidad de un paisaje basado en su composición, cuando se aproxima a cero (0) solo existe una clase paisajística y aumenta debido al incremento de clases o coberturas, siendo sensibles a tipos de fragmentos raros

(Mcgarigal et al., 2002). En este sentido, la diversidad de coberturas seminaturales del área de estudio se considera moderada al presentarse vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja, zonas verdes urbanas, pastos arbolados y plantación forestal que contribuyen a la variedad de clases. Ahora, se aprecia del año 2010 al 2024 una leve reducción en la diversidad de coberturas debido a las alteraciones antrópicas.

En general, los valores del índice de equitatividad de Shannon (SHEI) oscilan entre 0 y 1, aquellos cercanos a uno (1) indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales, mientras que los cercanos a cero (0) indican que el paisaje se encuentra dominado por uno o unos pocos tipos de cobertura (Badii & Landeros, 2007). Considerando estas aproximaciones, el índice de equitatividad de Shannon (SHEI=0,91) para el escenario actual, refiere a un paisaje con proporciones casi equitativas en términos de la proporción de las clases de cobertura seminatural, con una tendencia al mismo valor de este índice del año 2010 al 2024, pese a la dominancia de las zonas verdes urbanas y la vegetación secundaria en el escenario actual, así como las afectaciones antrópicas (Ver Tabla 15 y Tabla 16).

**Tabla 15** Descripción de las métricas de diversidad del paisaje

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>PR</b>	(#clases)	Riqueza de parches	La riqueza de parches (PR), refiere a la cantidad de clases de cobertura natural y seminatural presentes en el paisaje, en este caso, la variabilidad de parches.
<b>PRD</b>	(#clases/ha)	Densidad de Riqueza de parches	Refiere a la variabilidad o riqueza de parches encontrada en una hectárea.

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>SHDI</b>	(--)	Índice de diversidad de Shannon	Este índice refleja la diversidad del paisaje basado en su composición, cuando se aproxima a cero solo existe una clase paisajística y aumenta debido al incremento de clases o coberturas, siendo sensibles a tipos de fragmento raros (Mcgarigal et al., 2002). Evalúa el incremento en la diversidad y heterogeneidad de las coberturas en el paisaje. Para la misma área de estudio, la disminución en sus valores indica aumentos en la homogenización de las clases de coberturas, lo cual puede ser interpretado como pérdida de hábitats (Babí Almenar et al., 2019).
<b>SHEI</b>	(--)	Índice de equitatividad de Shannon	Equitatividad de Shannon (SHEI) (Pielou, 1975). Puede calcularse como: $SHEI = \frac{-\sum_i [p_i * \ln(p_i)]}{\ln(S)}$ Donde, S es el número de tipos de cobertura, pi es la proporción del tipo de cobertura i-ésimo. Sus valores oscilan entre 0 y 1; aquellos cercanos a 1 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales, mientras que los cercanos a 0 indican que el paisaje se encuentra dominado por uno o unos pocos tipos de cobertura (Badii & Landeros, 2007).

Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 16 Métricas a nivel de paisaje**

Categoría	Símbolo	Unidad	Índice	Año 2010	Año 2024
Área-Borde	CA/TA	ha	Área total	1060,03	1060,03
	LPI	%	Índice del fragmento más grande	0,95	1,33
	TE	m	Total de borde	2995,00	2320,00
	ED	m ha <sup>-1</sup>	Densidad de borde	2,83	2,19
	AREA (MN)	ha	Área fragmento	2,70	3,18
	MESH	(--)	Índice de tamaño efectivo de malla	0,65	0,86
Forma	GYRATE (MN)	(--)	Radio de giro-Compacidad media de los fragmentos	100,67	112,24
	SHAPE (MN)	(--)	Índice de forma	2,29	2,48

Categoría	Símbolo	Unidad	Índice	Año 2010	Año 2024
	<b>FRAC (MN)</b>	(--)	Índice de dimensión fractal	1,16	1,18
Área núcleo	<b>TCA</b>	ha	Área núcleo total	79,97	78,59
	<b>CORE (MN)</b>	ha	Área núcleo	1,67	2,02
	<b>CAI (MN)</b>	(%)	Índice de área núcleo	47,95	45,33
Agregación	<b>ENN (MN)</b>	m	Distancia euclidiana al vecino más cercano	175,40	231,74
	<b>PROX</b>	(--)	Índice de proximidad	130,69	150,50
	<b>NP</b>	#parches	Número de parches	48,00	39,00
	<b>PD</b>	(parches/100ha)	Densidad de parches	4,53	3,68
	<b>COHESION</b>	(--)	Índice de cohesión de parche	97,94	98,14
Diversidad	<b>PR</b>	(#clases)	Riqueza de parches	6,00	6,00
	<b>PRD</b>	(#clases/ha)	Densidad de Riqueza de parches	0,57	0,57
	<b>SHDI</b>	(--)	Índice de diversidad de Shannon	1,63	1,62
	<b>SHEI</b>	(--)	Índice de equitatividad de Shannon	0,91	0,91

Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

Fuente: el autor

### 7.3 Conectividad ecológica

En esta sección se analiza la conectividad ecológica (estructural y funcional) que puede ser estimada desde dos componentes fundamentales, el primero corresponde al componente estructural que lo determina el patrón espacial y la forma de conexión de los diferentes tipos de hábitat (parches) o coberturas del paisaje, en tanto que el componente funcional se asocia a la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje, siendo influenciados por las características del hábitat, el grado de tolerancia a ambientes alterados y la fase de vida (Alonso-F. et al., 2017; Bennett, 2004).

Con base en ello, se valora en este numeral la conectividad estructural en función de la configuración de las coberturas seminaturales en el paisaje urbano, las cuales favorecen el

desplazamiento de la fauna, por otra parte, se valora la conectividad funcional reflejando los nichos de las especies en el paisaje, para de esta manera definir su distribución espacial y el patrón de usos de las coberturas de conformidad con las barreras y matriz del paisaje. Los datos de entrada del programa Fragstat y los resultados de la conectividad estructural son relacionados en el Anexo A, mientras que los datos de entrada y resultados de modelos de conectividad funcional se localizan en el Anexo B.

### **7.3.2 Conectividad estructural**

En el escenario actual, los parches más agregados y próximos entre sí (bajo grado de aislamiento) corresponden a las Zonas verdes urbanas (PROX\_MN=708,76) y las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas (PROX\_MN=357,88), dado el menor número de parches y su cercanía, en tanto que los demás parches seminaturales como la Vegetación secundaria alta (PROX\_MN=10,32), Plantación forestal (PROX\_MN=0,08), la Vegetación secundaria baja (PROX\_MN=7,77) y los Pastos arbolados (PROX\_MN=2,35), se encuentran aislados o menos agregados, ver Tabla 18.

Así, el patrón de agregación de parches de las zonas verdes urbanas obedece a la cantidad de parches, el tamaño promedio y menor distanciamiento entre estos en un radio de 1000 metros como lo indica la métrica ENN\_MN (Ver Tabla 18), permitiendo a las especies generalistas usar estos parches para el desplazamiento por el territorio, su alimentación, hábitat, anidación o reproducción.

---

Por otra parte, en el paisaje actual, la distancia euclidiana al vecino de la misma clase más cercano oscila entre 10,00 y 559,63 metros para las coberturas seminaturales, valores considerados como moderados a bajos para la conectividad estructural, en el caso de especies que presentan fácil desplazamiento o son generalistas, pues se consideran distancias largas para desplazarse a otros parches y a ello se suma la presencia de barreras como las vías que dificultan aún más el desplazamiento de especies terrestres.

Por su parte, las Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas (ENN\_MN= 10,00 m) y Zonas verdes urbanas (ENN\_MN= 150,42 m), presentan una distancia euclidiana al vecino de la misma clase con los valores muy próximos entre parches, lo que podría ser favorable para el desplazamiento de la fauna hacia otros parches cercanos y que son muy agregados, sin embargo, estos parches se encuentran rodeados de vías y canales de agua, lo que dificulta el desplazamiento hacia otros sectores.

Por el contrario, los Pastos arbolados, la Vegetación secundaria alta, Plantación forestal y la Vegetación secundaria baja presentan una alta a moderada distancia a parches de su misma categoría, no obstante, en dicho rango es posible la movilidad de especies de fauna generalistas o con facilidad de desplazamiento como el grupo de aves, siendo características de distancias largas a nichos que brinden condiciones similares para su supervivencia y reproducción.

Estas coberturas seminaturales presentan un mayor distanciamiento a parches vecinos de su misma clase debido a que presentan un menor número de teselas o parches, y son poco representativos en el paisaje, lo cual, no es indicativo que no favorezcan en la conectividad

---

estructural puesto que estos parches pueden funcionar como zonas de paso (parches sumidero) entre las coberturas circundantes, en especial para el grupo de aves.

Con lo anterior es posible asegurar que las coberturas seminaturales presentan altas a moderadas condiciones de distanciamiento entre parches para el desplazamiento de la fauna silvestre. Estos valores de las métricas PROX\_MN y ENN\_MN son indicativos de que en el paisaje actual son evidentes los efectos de la fragmentación de coberturas, debido a la dominancia de la matriz antrópica o transformada que aún conserva parches seminaturales con moderadas a bajas condiciones de agregación o distanciamiento entre parches de la misma categoría.

Ahora bien, la agregación o contigüidad de las coberturas se redujo del 2010 al 2024 para los pastos arbolados, Plantación forestal y la Vegetación secundaria alta (Ver Tabla 18 y Gráfica 16), lo que es indicativo de una reducción en la vecindad o cercanía de algunas coberturas en un radio de 1000 metros, encontrándose ello relacionado con la reducción del número o tamaño de parches y su forma, lo que repercutió en la reducción de su patrón de agregación. Por el contrario, se aprecia que la las rondas de cuerpos de agua tiende a aumentar levemente su agregación o contigüidad (Ver Tabla 18 y Gráfica 16), lo que refleja cambios en su estructura a lo largo del tiempo, siendo más contiguos en la actualidad por efecto de los cambios en su borde y áreas núcleo a causa de los eventos de sucesión (Ver Figura 7, Figura 8, Figura 10 y Figura 11).

Inversamente, las coberturas de Zonas verdes urbanas y Vegetación secundaria baja no

---

reflejaron cambios notorios en su agregación o aislamiento a lo largo del tiempo. Todos estos cambios, en términos de proximidad para las demás coberturas, obedecen a los cambios en la forma, tamaño promedio, cantidad de parches y área núcleo, lo que ha promovido que estas coberturas seminaturales se encuentren más aisladas o agregadas en la actualidad, ya que los bosques seminaturales tendieron a reducirse cerca del 1% del año 2010 al 2024, aspectos que son desfavorables para la fauna en términos de conectividad estructural.

Tal como lo indica la métrica de distancia euclidiana al parche más cercano (ENN), del 2010 al 2024 las coberturas de Zonas verdes urbanas y Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas se mantienen en rangos similares y cuentan con los parches más cercanos a fragmentos de su misma categoría o que la distancia entre los mismos es mucho más corta en el escenario actual. Por su parte, los Pastos arbolados, la Vegetación secundaria alta y Plantación forestal tendieron a aumentar la distancia a parches de su misma clase en dicho periodo. En cambio, la Vegetación secundaria baja, tendió a encontrarse menos distante o más cercana a parches vecinos de su misma clase en dicho periodo (Ver Tabla 18 y Gráfica 17).

En este caso, del año 2010 al 2024 las coberturas surtieron transformaciones en su forma, borde, tamaño y cantidad de parches, lo que conllevó a que los parches de cobertura seminatural se encuentren más cercanos o contiguos en la actualidad para la Vegetación secundaria baja, pero en algunas otras coberturas se tendió al aislamiento de parches, en especial la Vegetación secundaria alta y la Plantación forestal, ver Tabla 18, Gráfica 16 y Gráfica 17.

**Tabla 17** Descripción de las métricas de configuración

Símbolo	Unidad	Nombre del índice	Descripción
<b>PROX (MN)</b>	(--)	Índice de proximidad <b>(radio de 1000 m)</b>	Corresponde a la suma del área del fragmento (m <sup>2</sup> ) dividido por la distancia cuadrada más cercana de borde a borde (m <sup>2</sup> ) entre el parche y el parche focal de todos los parches de cada clase de cobertura cuyos bordes se encuentran especificados a una distancia (m) del parche focal. Este índice muestra, en un radio de análisis definido, los parches de la misma clase, indicando la vecindad o contigüidad entre las coberturas (Cabacinha & Castro, 2009; Marín Valencia et al., 2008).
<b>ENN (MN)</b>	<b>m</b>	Distancia euclidiana al vecino más cercano <b>(radio de 1000 m)</b>	Corresponde a la distancia en metros al fragmento de la misma clase más cercano, basado en la distancia más corta de borde a borde (Cabacinha & Castro, 2009). Este mide la pérdida de conectividad estructural sin considerar las características de los demás tipos de cobertura o la presencia de barreras y como estas aumentan o reducen la capacidad de movimiento de las diferentes especies (Babí Almenar et al., 2019).
<b>CONNECT</b>	(%)	Índice de conectancia	Mide el grado de conexión física (%) entre los fragmentos que conforman un paisaje, siendo un indicador directo de conectividad espacial. Es definido por el número de enlaces funcionales entre fragmentos del mismo tipo de cobertura donde cada fragmento está conectado o no, basado en un criterio de distancia. El rango va de 0 a 100, donde es igual a 0 cuando la clase consiste de un solo fragmento o ninguno de los fragmentos está conectado, y es igual a 100 cuando todos los fragmentos de la clase están conectados (Kindlmann & Burel, 2008; Mcgarigal et al., 2002).

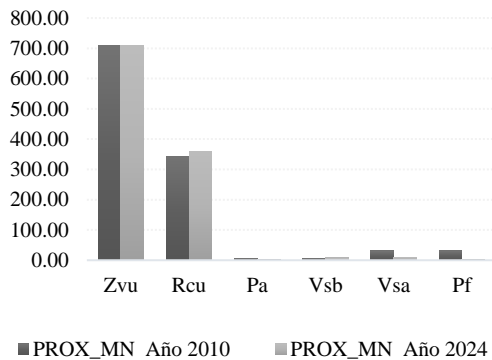
Nota: MN= Media; (--) = Sin unidad

**Tabla 18 Métricas de configuración**

Nombre cobertura	Símbolo cobertura	PROX_MN		ENN_MN (m)	
		Año 2010	Año 2024	Año 2010	Año 2024
Zonas verdes urbanas	Zvu	708,76	708,76	150,42	150,42
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	Rcu	342,75	357,88	10,00	10,00
Pastos arbolados	Pa	7,41	2,35	245,47	319,61
Vegetación secundaria baja	Vsb	7,21	7,77	204,16	192,08
Vegetación secundaria alta	Vsa	31,43	10,32	133,06	217,95
Plantación forestal	Pf	32,22	0,08	93,70	559,63

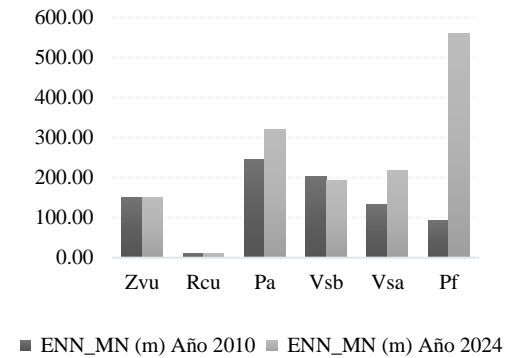
Fuente: el autor

**Gráfica 16 Índice de proximidad**



Fuente: el autor

**Gráfica 17 Distancia euclidiana al vecino más cercano**



Fuente: el autor

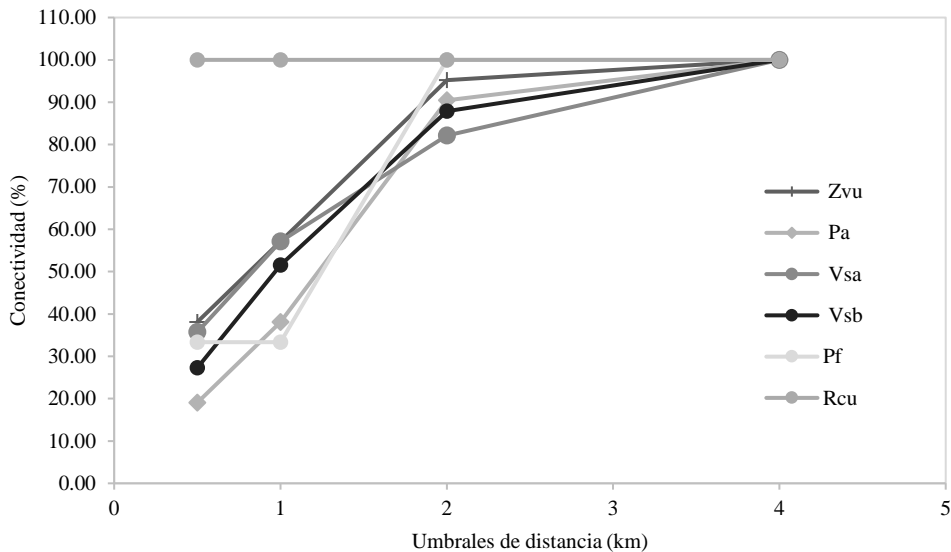
En la actualidad, las coberturas que se encuentran más aisladas son la Plantación forestal, las rondas de cuerpos de agua, pastos arbolados y la Vegetación secundaria baja, relacionado a su número de parches y distancia promedio, por ello la conectividad tiende a ser menor a diferencia de las demás coberturas, debido a su agregación y mayor distanciamiento entre parches vecinos cercanos (Ver Gráfica 18).

---

Contrariamente, las Zonas verdes urbanas, la vegetación secundaria alta y las rondas de cuerpos de agua presentan una mayor conectancia en el umbral de 0,5 y 1 km al contener parches agregados y de poca distancia a parches vecinos de su misma clase, sin embargo, ello no refiere a que se encuentren en las mejores condiciones de conectividad estructural puesto que la baja cantidad de fragmentos y el patrón de agregación permiten calcular una alta conectancia entre estos parches remanentes.

Ciertamente, en un radio de 2 km la conectividad estructural aumenta para todas las coberturas, manteniéndose de igual manera con un valor superior de conectancia para las zonas verdes urbanas y rondas de cuerpos de agua. Esto con relación a los parámetros de agregación y distancia a parches vecinos descritos con anterioridad, pues estos tienden a estar más próximos o contiguos entre sí en dicho rango de 2 km con valores superiores a 70% de conectividad.

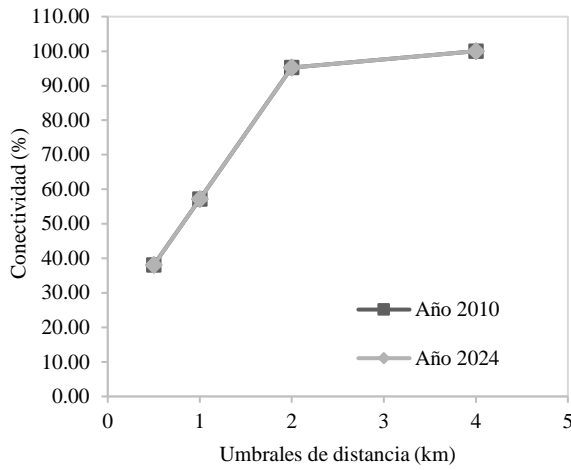
Por el contrario, en un rango de 0,5 km y 1 km la conectividad estructural de parches de todas las coberturas es inferior al 60%, tomando en cuenta que algunas coberturas presentan aislamiento y con distancias a parches vecinos superiores a los 150 metros, sumando la presencia de vías que limitan el desplazamiento.

**Gráfica 18** *Conectividad coberturas actuales*

*Fuente: el autor*

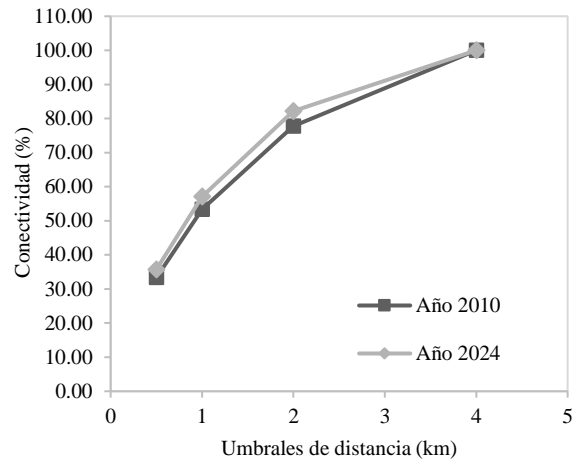
Del año 2010 al año 2024 se puede apreciar una reducción de la conectividad estructural de la Vegetación secundaria baja, con una tendencia al aumento de la conectividad de la Vegetación secundaria alta y los Pastos arbolados, ello como resultado de los cambios en el número parches, teselas y distancia a parches vecinos. No obstante, las zonas verdes urbanas, plantación forestal y rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, no reflejaron cambios relevantes en la conectividad estructural entre dicho periodo (Ver Gráfica 19 a Gráfica 23).

**Gráfica 19** Zonas verdes urbanas



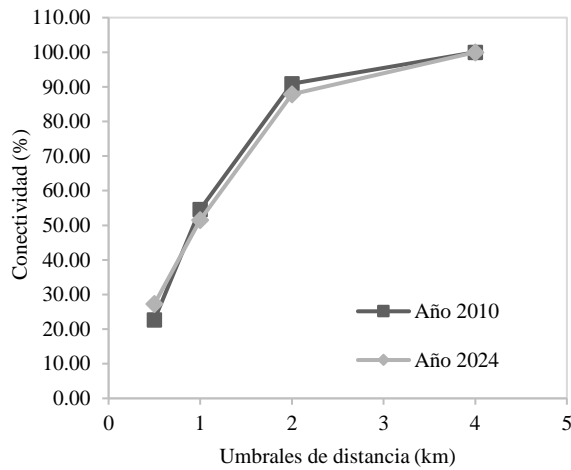
Fuente: el autor

**Gráfica 20** Vegetación secundaria alta



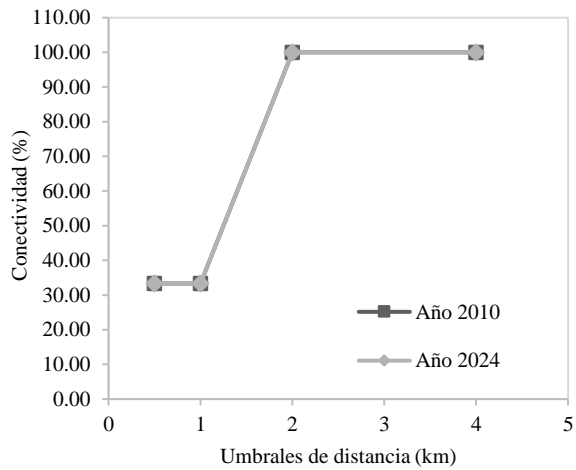
Fuente: el autor

**Gráfica 21** Vegetación secundaria baja

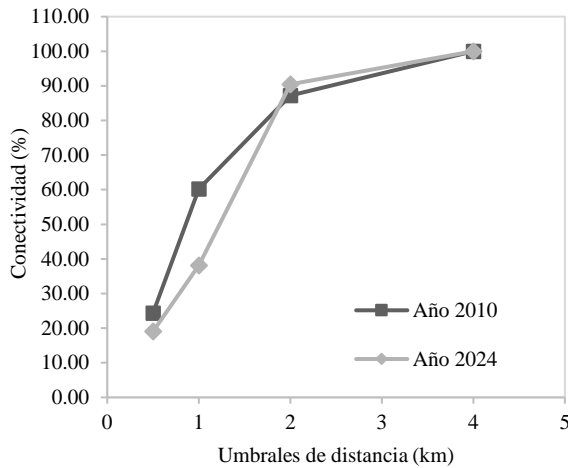


Fuente: el autor

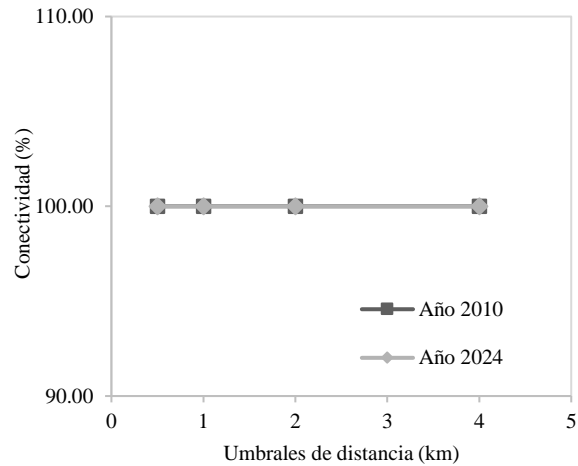
**Gráfica 22** Plantación forestal



Fuente: el autor

**Gráfica 23** Pastos arbolados

Fuente: el autor

**Gráfica 24** Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas

Fuente: el autor

### 7.3.3 Conectividad funcional

Para la modelación de la conectividad funcional se seleccionaron tres (3) especies de fauna de interés para la conservación que habitan en el Humedal Torca-Guaymaral y sus alrededores, las cuales fueron seleccionadas y analizadas en términos de su requerimiento de hábitat, estado de amenaza, vulnerabilidad, comportamiento, dinámicas de movimiento (terrestres, voladoras o acuáticas) y su registro en el GBIF, para posteriormente modelar el uso del ecosistema y las rutas de movimiento, con el fin de establecer el rol del Humedal Torca-Guaymaral en la conectividad de la zona norte de la ciudad y la conservación de nichos, en especial entre la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen” y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (Cerros orientales).

Lo anterior para considerar en los análisis y medidas de manejo para especies de diferentes dinámicas de movilidad o respuesta ante disturbios, bien sea terrestres, acuáticas o aves voladoras, para lograr representar los diferentes patrones de uso de hábitat y rutas de movimiento a lo largo de este ecosistema.

Por otra parte, en otros estudios realizados durante la formulación del Plan de Manejo del Humedal Torca-Guaymaral y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen” se ha hecho énfasis en la generación de modelos para el grupo de aves (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014; Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a), por lo que en este estudio se vincula una especie terrestre como *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero) para conocer el rol del ecosistema en su movilidad y su eventual conservación.

De este modo, a partir de una mesa de expertos se eligió la especie *Synallaxis subpudica* (Pijuí de Cundinamarca) y *Porphyriops melanops* (Polla sabanera) con el fin de tener un panorama de la posible afectación sobre el grupo de aves (voladoras-terrestres y acuáticas), y por otra parte, la especie *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero) con el fin de modelar las rutas de movimiento y calidad de hábitat de una especie terrestre, todas ellas registradas para ambos humedales a través del GBIF, en estudios de impacto ambiental de proyectos de infraestructura y el Plan de Manejo de las reservas.

Para la elección de la especie se tuvieron en cuenta aspectos de conservación, vulnerabilidad, estado de amenaza, endemismo, funcionalidad, importancia ecológica y etología

de la especie, con el fin de modelar de forma precisa la conectividad funcional del ecosistema. Así, se involucraron en el análisis los impactos de las vías, la infraestructura y las condiciones del ecosistema en la conformación de nichos de la especie y sus dinámicas de movilidad por el paisaje para el escenario actual, así como la presencia de zonas de importancia hídrica.

De este modo, se analizaron los efectos de las vías, la favorabilidad de afluentes, humedales y el uso de coberturas para cada una de las especies de interés en el escenario actual, ello para modelar la calidad de hábitat, designando en una matriz de resistencias los valores para cada parámetro, conforme con la consulta de información secundaria de cada especie y la mesa de expertos, contemplando sus hábitos, reproducción, alimentación, hábitats y dinámicas de movimiento (Ver Anexo B, DatosEntrada para *Synallaxis subpudica*, *Porphyriops melanops* y *Neomicroxus bogotensis*, matriz de Excel de resistencias).

### **7.3.3.1 *Synallaxis subpudica* (Pijuí de Cundinamarca)**

El Pijuí de Cundinamarca, chamicero cundiboyacense o chamicero rabilargo (*Synallaxis subpudica*) es una especie endémica de Colombia, puntualmente de los Andes Orientales del país. Puede confundirse con el rastrojero de Azará (*Synallaxis azarae*) debido a que son muy parecidos a nivel morfológico, pero *S. subpudica* presenta colas más largas y de color café grisáceo mientras que *S. azarae* presenta la cola rufa y más corta, no presentan dimorfismo sexual. Suele identificarse por su canto distintivo y repetitivo. Es común de **claros enmalezados, matorrales y bordes de selva enmarañados**, por lo que se resalta la importancia de estas coberturas en el área, puntualmente la vegetación secundaria baja/alta, plantación forestal, rondas

de cuerpos de agua, zonas verdes urbanas y pastos enmalezados o arbolados.

Se considera el rastrojero más común de la sabana de Bogotá. Se distribuye entre los 1200 y 3200 m.s.n.m aunque otros autores (Ayerbe-Quiñones, 2019) sugieren 1500 a 3500 m.s.n.m (Hilty, S. & Brown, 2001). Suele encontrarse en parejas forrajeando en busca de alimento desde el suelo hasta 2 metros de altura en arbustos y matorrales. No suele unirse a bandadas mixtas.

**Fotografía 30** *Synallaxis subpudica* (Pijú de Cundinamarca)



*Localidad: Usaquén - Barrio: Torca I*

*Coordenadas: E 4884777.744 N 2086978.685*

*Fuente: INGEDISA S.A., 2023*

Por su parte, *Synallaxis subpudica* fue elegida debido a la necesidad de involucrar en la modelación una especie que usa como hábitat el humedal Torca-Guaymaral. También fue

analizada debido a que, como se mencionaba anteriormente, es una especie endémica de los Andes Orientales de Colombia, distribuida particularmente en los departamentos de Cundinamarca y norte de Boyacá. En términos ecológicos es considerada bastante común en sus hábitats naturales: los bordes de los bosques de montaña, las áreas con crecimiento de arbustos, matorrales y setos, entre los 2000 y 3200 m de altitud (Birds Colombia, 2020), siendo estos hábitats identificados en proximidad al humedal, por ello fue incluida en el modelo de nicho partiendo de las coberturas identificadas.

Durante la temporada de reproducción (julio a septiembre) el chamicero rabilargo construye su nido en forma globular con un diámetro entre 30 y 40 cm y una altura entre 50 y 60 cm, con una cámara de incubación que está cubierta de musgo y ramas. Suele ubicarse en arbustos a una altura aproximada de 2 metros del suelo (Avibase, 2020).

Para la especie *Synallaxis subpudica* se identificó una preferencia por las zonas húmedas, los pastizales o claros colindantes al Humedal Torca-Guaymaral, también la vegetación secundaria o transformada como la plantación forestal<sup>5</sup>. Conviene subrayar que la mayor parte del área de estudio cuenta con una moderada a alta resistencia, permitiendo evidenciar una baja a moderada calidad de hábitat para esta especie en la mayor parte de la zona, con excepción del Humedal Torca - Guaymaral y su alrededores que presentan una mejor calidad de hábitat para esta especie, al igual que las zonas de ronda de las quebradas, ello a partir de lo previsto en los

---

<sup>5</sup> Enel Colombia S.A. E.S.P. 2023. Estudio de Impacto Ambiental proyecto “Subestación eléctrica Guaymaral y sus líneas de transmisión a 115 kV”

registros del GBIF (Ver Figura 12).

Por consiguiente, las rutas de movilidad se centran en las zonas de humedal y sus alrededores, involucrando las rondas de quebradas y el separador de la autopista norte cuya intercepción se da con las quebradas Novita, Cañiza, La Floresta, Las Pilas, Q. Patiño, Drenaje Q. San Juan, Canal Torca y Canal Guaymaral (Ver Figura 12). En este sentido, se identifican un total de 26 corredores de movimiento de esta especie a lo largo del área de estudio con rangos de distancia de 520 a 3882 metros de longitud para las rutas de menor costo, tal como se aprecia en la Figura 13, siendo los principales conectores en el Humedal Torca y Humedal Guaymaral.

Destaca que las zonas con mayores opciones de movimiento se encuentran en el Humedal Guaymaral y el parque estructurante sector suba, las rondas de Quebradas La Cañiza, La Floresta y el Humedal Torca y las zonas pantanosas de la Quebrada San Juan, siendo esta última junto con la Quebradas La Cañiza y La Floresta las de mayor oportunidad para la conexión de los cerros orientales con los Humedales Torca-Guaymaral, mientras que el corredor modelado en el Humedal Guaymaral sería el punto conector con la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen”, ello permitiendo el flujo de esta especie hacia la planicie del río Bogotá.

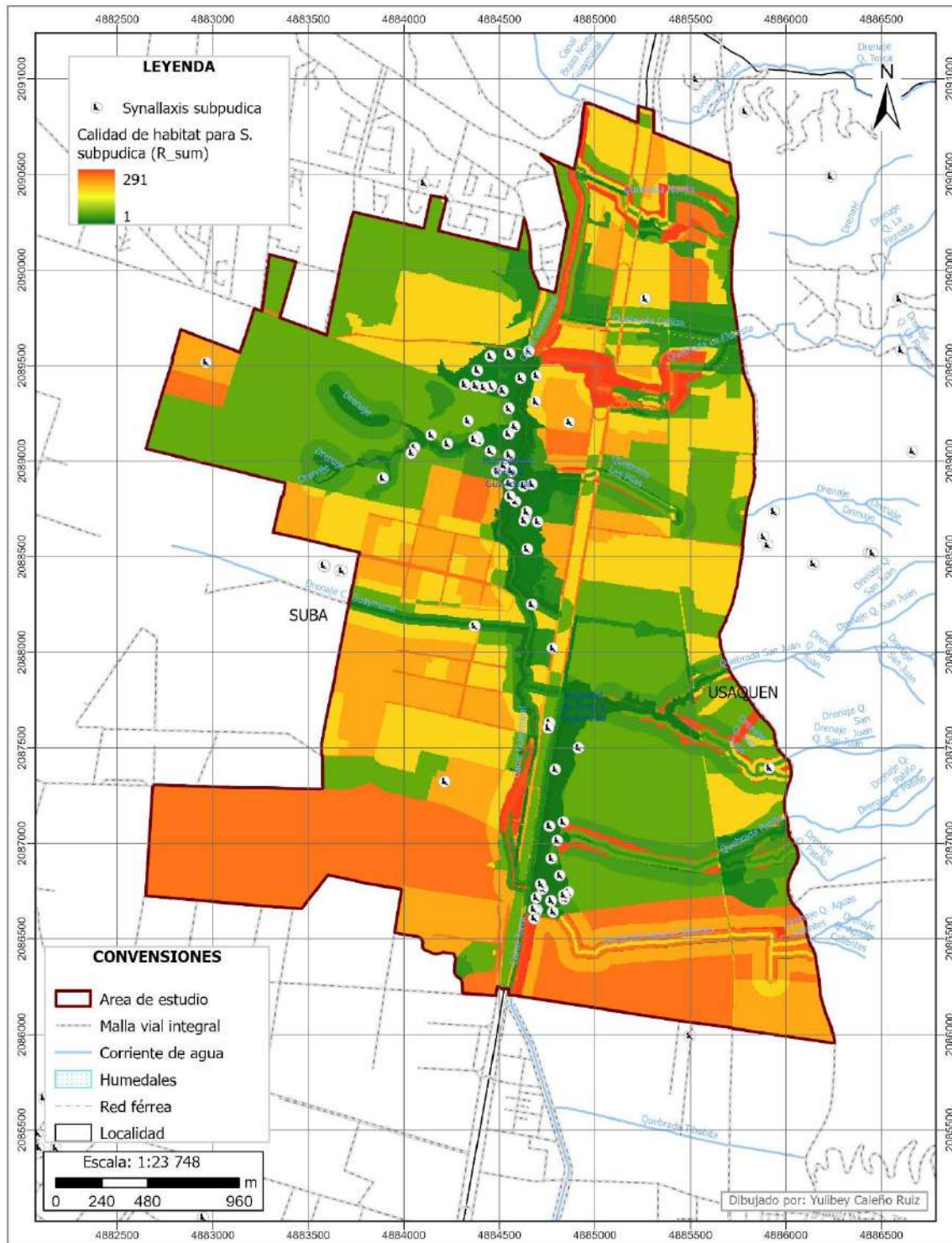
Concedido esto, el Humedal Torca-Guaymaral y su vegetación promueven la conectividad funcional en el borde norte de la ciudad de Bogotá a través de corredores que facilitan el desplazamiento de esta especie endémica de Colombia, entre ambas reservas.

---

Teniendo en cuenta la disponibilidad de nichos para la especie, el corredor localizado en el extremo oriental del área de estudio, puntualmente entre el Humedal Guaymaral y el parque estructurante sector suba, se constituye como el más largo con 3882 metros, junto con el corredor que se conforma desde el zonas pantanosas de la Quebrada San Juan hacia el parque estructurante sector suba, prosiguiendo al Humedal Guaymaral con una longitud de 3308 metros (Ver Figura 13), siendo ambos los principales conectores entre las dos reservas, siendo las áreas de mayor preferencia de hábitat o corredores de menor costo para la movilidad de la especie de acuerdo con lo apreciado en la Figura 13.

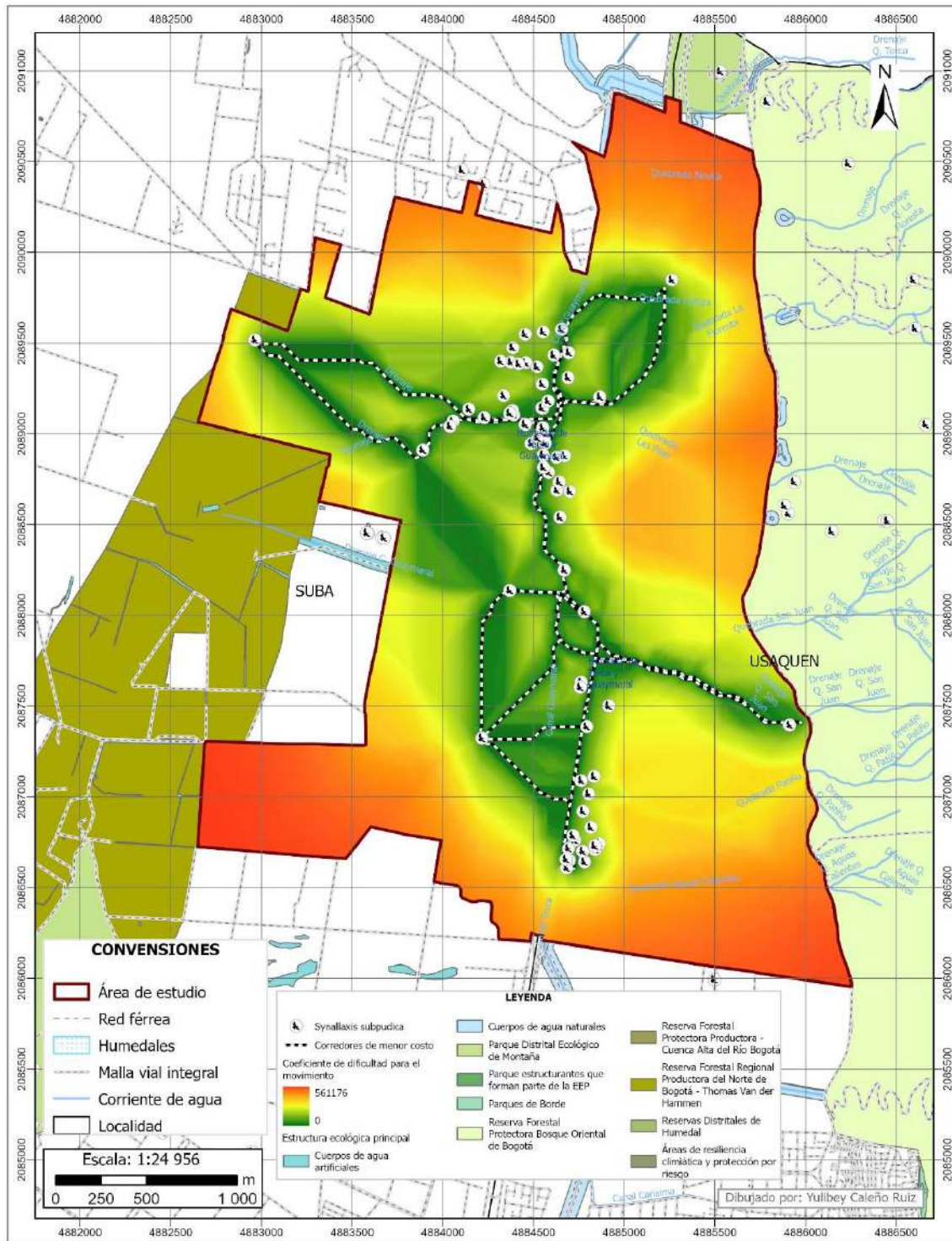
Para terminar, desde los cerros orientales se aprecia un corredor de 2540 metros que conecta con el Humedal Torca, el cual también permite la llegada de especies a este ecosistema, desde donde migran las especies a través de otras de las rutas hacia el Humedal Guaymaral, ver Figura 13. También las zonas riparias de las Quebradas La Cañiza y La Floresta son un punto de conexión importante entre los cerros orientales y el Humedal Guaymaral. Con esto en mente, se asegura que las zonas de vegetación colindantes con estas quebradas son los principales puentes de conectividad estructural y funcional para esta especie desde los cerros orientales hacia los humedales y la reserva Thomas van der Hammen, siendo además las coberturas de ambos humedales los principales conformadores de estos corredores de movimiento.

Figura 12 Calidad de hábitat *Synallaxis subpudica*



Fuente: el autor

Figura 13 Corredores movimiento *Synallaxis subpudica*



Fuente: el autor

### 7.3.3.2 *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero)

El ratón arrocero (*Neomicroxus bogotensis*, ver Fotografía 31), especie endémica de la Cordillera Oriental de Colombia, Cordillera de Mérida y Páramo de Tamá en Venezuela, entre los 2400 y 3900 m.s.n.m. (Canon, 2020). Es una especie solitaria y nocturna, aunque eventualmente puede estar activa durante el día, siendo una especie difícil de observar. Sus desplazamientos están asociados a vegetación de ecosistemas andinos, humedales y vegetación de páramo (Paredes et al., 2020). Al presentar una adaptación semifosorial le permite desplazarse con mayor facilidad en los microhábitats como pajonales, musgos, cavidades en el suelo, roja, troncos, hojarasca, entre otros (Paredes et al., 2020).

**Fotografía 31** *Neomicroxus bogotensis* (Ratón arrocero)



*Localidad: Suba - Barrio: Casa Blanca Suba*

*Coordenadas: E: 4884633,07 - N: 2088854,03*

*Fuente: INGEDISA S.A., 2023*

Descriptivamente, es un ratón de tamaño pequeño entre 79-90mm, presenta un cuerpo robusto y redondeado con un pelaje suave y de color oscuro. La coloración del pelaje dorsal varía de grisáceo hacia un castaño oscuro, con vientre ligeramente más pálido, sin una línea distintiva que lo separe del dorso. La cola es corta, 60 - 70 % de la longitud cabeza-cuerpo, e indistintamente bicolor, oscura arriba y más pálida abajo por la presencia de pelos pardos y plateados. Es una especie que prefiere los ecosistemas conservados, razón por la cual, una de sus principales amenazas es la pérdida y alteración de su hábitat por la presencia de especies exóticas como gatos y perros ferales, así como también la contaminación de su entorno (Paredes et al., 2020).

Sus particularidades son que habita en zonas de pastizales, bosques y páramos, incluidas zonas de bosque de *Polylepis*, frailejones e incluso áreas con disturbios o cultivos. Se alimenta de insectos y otros invertebrados, así como de materia vegetal del suelo. El nombre *Neomicroxus* hace referencia a “nuevo”, debido a que las especies clasificadas en este grupo conforman un nuevo género. Anteriormente, se encontraba dentro del género *Akodon* (Curay-Guala, 2019; Liévano Latorre & López Arévalo, 2014).

La especie *Neomicroxus bogotensis* fue incluida en los análisis por su preferencia de hábitats conservados, sus dinámicas de movilidad (terrestre), por ser presa de aves rapaces entre otras especies de fauna, al tratarse de una especie endémica de la cordillera oriental de Colombia (Norte de Santander hasta Huila) y el occidente de Venezuela, siendo de importancia para la conservación en los Humedales Torca y Guaymaral.

---

Esta es una especie que tiene rangos de hogar pequeños, una de las principales amenazas es la pérdida y transformación de su hábitat (Cassola, n.d.). Hace apenas un año (2022) se registró por primera vez la presencia de esta especie en el Humedal Torca-Guaymaral por estudios adelantados para proyectos de infraestructura <sup>6</sup> y la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) a través de los reportes del GBIF, siendo de igual manera registrada como especie potencial en el Plan de Manejo de este ecosistema (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a), lo que nos puede indicar unas buenas condiciones del hábitat y la importancia de incluirla en la modelación de conectividad.

---

<sup>6</sup> Enel Colombia S.A. E.S.P. 2023. Estudio de Impacto Ambiental proyecto “Subestación eléctrica Guaymaral y sus líneas de transmisión a 115 kV”

**Fotografía 7-1** Ratón arrocero (*Neomicroxus bogotensis*) especie endémica



*Barrio: Casablanca Suba Urbano - Ciudad: Bogotá*

*Coordenadas: E 4884586,73 N 2088790,09*

*Fuente: INGEDISA S.A., 2022*

Al conocer el rango de acción de las especies registradas en alguna categoría especial, estas son tenidas en cuenta para establecer mejores criterios en la definición estrategias de análisis y conservación, especialmente en aquellos sitios donde las especies fueron registradas. Por ejemplo, para el caso del ratón arrocero (especie que, por su morfología y rango de hábitat, posee extensiones limitadas de desplazamiento) registrada principalmente sobre la cobertura de zonas pantanosas en el humedal Torca-Guaymaral, área protegida ubicada al norte de Bogotá, el cual está dividido por la Autopista Norte entre las localidades de Suba y Usaquén.

Resulta ser una especie de interés para la modelación de calidad de hábitat y rutas de movimiento, con el fin de establecer su conectividad funcional a lo largo de la zona norte, así como la funcionalidad de los humedales Torca y Guaymaral para su conservación y dinámicas de

movilidad por el territorio. También al tratarse de una especie de movilidad terrestre que, se encuentra mayormente limitada por las condiciones del paisaje urbano, siendo de interés evaluar los posibles nichos y zonas de movimiento, para luego formular estrategias que promuevan el aumento en la conectividad a través de la consolidación de pasos de fauna durante la construcción de proyectos futuros de infraestructura vial y de vivienda.

Una vez estimadas las resistencias de la especie a la infraestructura y coberturas del área de estudio se aprecia una muy baja a moderada calidad de hábitat en la mayoría de los sectores, con excepción de las zonas de claros o con relictos de vegetación, en particular asociadas al Humedal Torca-Guaymaral, tal como se aprecia en la Figura 14, donde las mayoría de zonas con moderada a alta aptitud o mejores condiciones de nicho se encuentran en las zonas de pastizal, riveras de quebradas y vegetación arbórea o arbustiva, al igual que zonas pantanosas, esto de conformidad con los registros del GBIF y las coberturas delimitadas para este estudio.

La alta resistencia en la mayoría de los sectores obedece a la presencia de vías e infraestructura que limita el establecimiento de nichos de la especie y su movilidad, por consiguiente, las zonas con presencia de vegetación colindantes al Humedal Torca-Guaymaral presentan un óptimo hábitat para esta especie (Ver Figura 14).

Partiendo de la disponibilidad de nichos se identificaron un total de 32 áreas núcleo conformadas por zonas pantanosas (Zpn), vegetación secundaria alta y baja (Vsa-Vsb), estimadas a partir de los registros del GBIF e información secundaria los cuales presentan las mejores condiciones de nicho y recursos para supervivencia, alimentación y reproducción. Es así

como a partir de estas zonas se estimaron los corredores de movimiento entre cada hábitat.

Como resultado de la modelación se identificaron un total de 49 corredores de movimiento para esta especie con un rango de 5 a 965 metros de longitud, siendo los corredores del sur y norte los más extensos, transcurriendo por los alrededores de las quebradas Cañiza, La Floresta, El canal Guaymaral y Q. Novita con una longitud de 716 a 965 m en el sector del norte del área de estudio.

Hacia el sector sur se localiza un corredor importante en la riberas de la quebrada Patiño de 7321 metros de longitud, que conecta los Cerros orientales con el Humedal Torca y sus alrededores, siendo el principal punto de manejo especial para implementación de pasos de mamíferos, ello al ser una ruta importante para la conectividad desde esta reserva hacia los humedales (Ver Figura 15).

Seguidamente, se encuentran otros corredores de menor costo con longitudes de 5 a 556 metros de longitud que conectan con el Humedal Guaymaral desde el Humedal Torca y las riberas de quebradas Cañiza, La Floresta, El canal Guaymaral y Q. Novita, encontrándose en el trayecto con barreras como las vías, en las cuales es importante la instalación de pasos de fauna, particularmente en la autopista norte que reúne la principal limitante para la movilidad de esta especie hacia el parque Guaymaral sector suba y el humedal Guaymaral (Ver Figura 15).

Las zonas de vegetación colindantes con la Quebrada San Juan también conforman un corredor viable para la conectividad de los cerros orientales con el Humedal Torca, en la zona

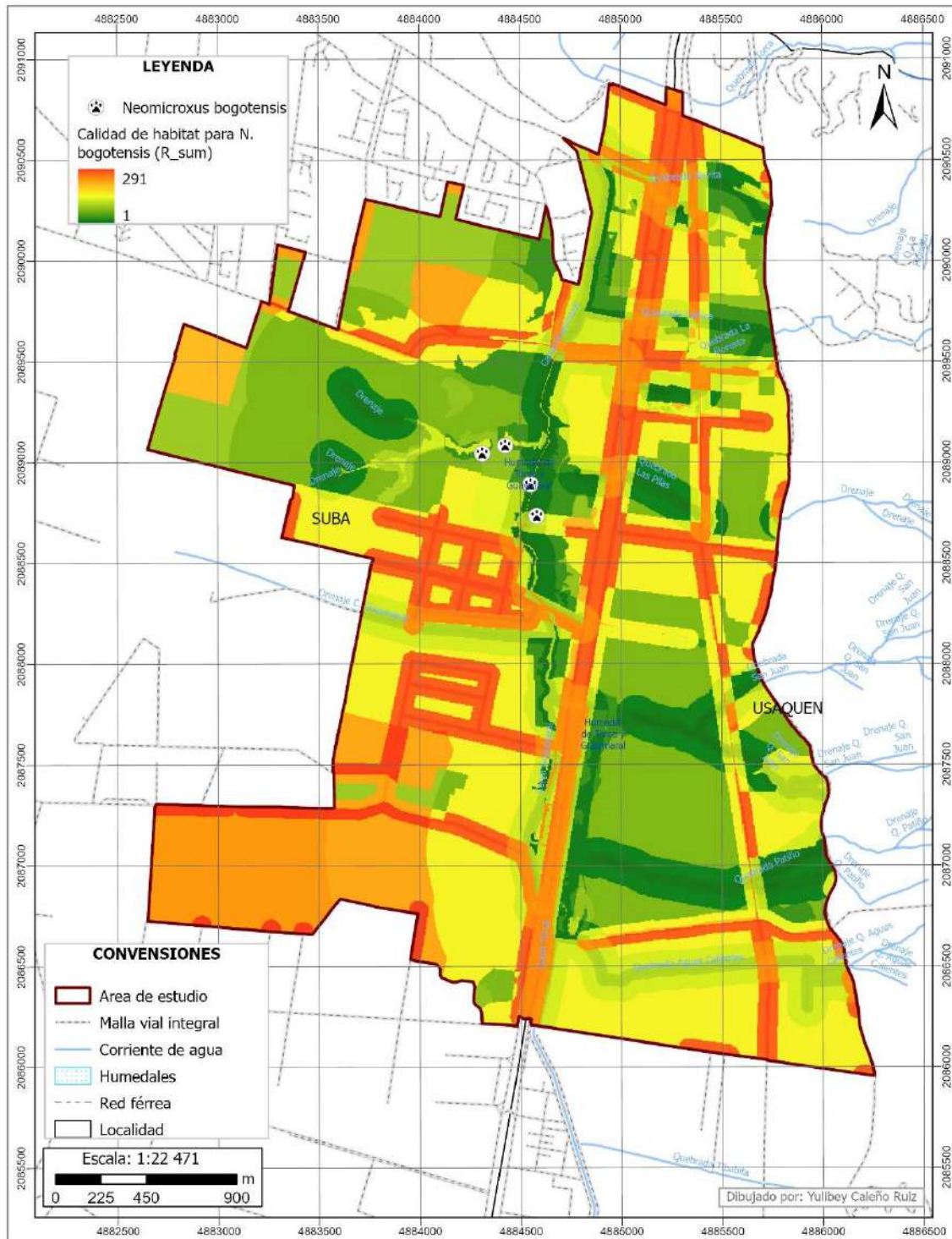
---

sur del área de estudio (Ver Figura 15). Mientras que en la zona norte las riveras de vegetación de las quebradas Cañiza, La Floresta y Q. Novita conforman corredores que conectan los cerros orientales con el Humedal Guaymaral, encontrándose también con barreras para la movilidad como las vías y la autopista norte, donde es vital la implementación de los pasos de fauna para mamíferos.

Es de resaltar los mayores registros de esta especie en las coberturas del Humedal Guaymaral, por lo que estas zonas serían de mayor prioridad para implementar medidas de manejo o pasos de fauna, ello para garantizar la conservación de esta especie y las dinámicas de movilidad desde los cerros orientales hacia la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen”.

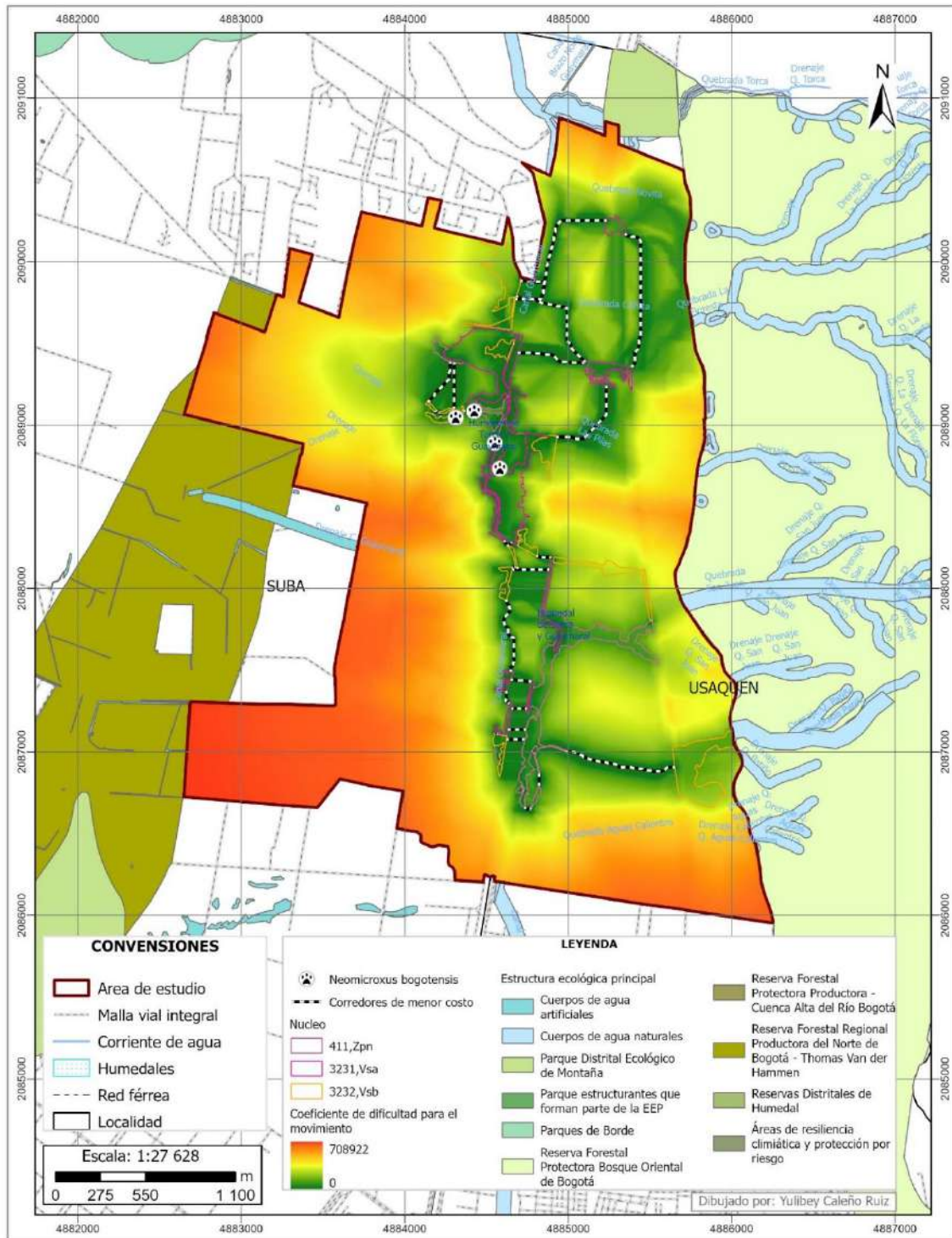
Por consiguiente, las rutas de priorización para instalación de pasos de fauna que faciliten la movilización por los ecosistemas de humedal se vinculan a las Quebrada Novita, El canal Guaymaral, Drenaje Q. San Juan 1, Cañiza y La floresta, la cuales permiten la conexión entre el Humedal Torca y Guaymaral a través de Box Coulvert, junto con la vegetación de corredor de la autopista norte, la vegetación secundaria y zonas de pastizal aledañas a estos humedales. No sobra resaltar que en el Plan de Manejo de los humedales se plantean otros pasos de fauna en las zonas de vías (Ver Figura 19), los cuales también deben ser considerados en las medidas de manejo de los proyectos de infraestructura que se realizaran en el ecosistema y sus alrededores.

Figura 14 Calidad de hábitat *Neomicroxus bogotensis*



Fuente: el autor

Figura 15 Corredores movimiento *Neomicroxus bogotensis*



Fuente: el autor

### 7.3.3.3 *Porphyriops melanops* (Polla sabanera)

La gallineta pintada o *Gallinula melanops*, es denominada como tagüita, polla pintada, polla sabanera, polla de agua pico verde, pollona pintada y tingua moteada, de la familia Rallidae que se distribuye por América del Sur. La especie tiene tres subespecies de amplia distribución geográfica: *Gallinula melanops bogotensis* (Chapman, 1914) que es endémica de la Cordillera Oriental de Colombia, por lo que se encuentra hoy en día en peligro crítico de extinción. También *Gallinula melanops crassirostris* (Gray, J. E., 1829) – Argentina y Chile. Además de *Gallinula melanops melanops* (Vieillot, 1819) – Perú al E Bolivia, E Brasil a Uruguay y Paraguay (birdscolumbia, 2022).

Esta especie habita en humedales naturales y artificiales, al igual ha sido registrada en canales rurales que poseen de bajos a moderados niveles de contaminación, en los que hay presencia de espejos de agua o vegetación flotante, en especial en el tapete de pequeñas plantas acuáticas como *Lemna gibba*, *Azolla filiculoides*, *Limnobium laevigatum* (Cadena 2002b; Zuluaga-Bo-nilla 2004, 2007, 2008; Becerra et ál. 2005; Benítez-Castañeda et ál. 2005a, 2005b; Cely et ál. 2005; Osbahr y Gómez 2008; Van Der Hammen et ál. 2008; Zuluaga-Bonilla y Macana 2008, 2009) (birdscolumbia, 2022).

**Fotografía 32** *Porphyriops melanops*



*Fuente: INGEDISA S.A., 2022*

Es una especie poco común en los humedales distritales, sin embargo, se han registrado individuos en los humedales de Córdoba, La Conejera, Guaymaral, Jaboque y Tibanica, asociados a espejos de agua o vegetación flotante (Loaiza 2006; Rosselli 2011). Es de realzar que en las zonas rurales tolera disturbios por intervención agrícola y ganadera, e inclusive de viviendas en baja densidad como lo demuestran los hallazgos de Rodríguez-Grisales (2007), y la población presente en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA en un laguito de 125 m<sup>2</sup> (L. Rosselli obs. pers.).

Por su parte, Rosselli y Stiles (2012) reportaron 4 individuos en el humedal de Neuta, 29 en el humedal La Conejera, 19 en la Laguna del Salitre, 14 en Gravillera del río Siecha, 25 en Colina, 41 en Gualí, 26 en el humedal de Guaymaral y 15 en Jaboque. Se considera una especie en preocupación menor (LC) de acuerdo con los criterios de la UICN en el ámbito internacional

(*Gallineta Pintada* - *EBird*, n.d.). A nivel nacional se encuentra listada bajo la categoría En Peligro (EN), según el libro rojo de las aves de Colombia (birdscolumbia, 2022).

La principal amenaza para esta especie se relaciona con la contaminación que conlleva a la disminución de hábitats para sus poblaciones. Stiles y Rosselli (2012) encontraron que la urbanización es una amenaza para esta especie, ya que fue el factor significativo más importante que se relaciona negativamente con su presencia y abundancia en los humedales de la Sabana. La presencia de perros y ratas, comunes sobre todo en los humedales distritales (Calderón-Reyes 2008), representa una amenaza para huevos, jóvenes y adultos (Pedraza 2001; Becerra et ál. 2005). Como la mayor parte de la población está en humedales y estanques rurales presentes en fincas privadas, una amenaza potencial es el manejo que los dueños le den a esos cuerpos de agua (birdscolumbia, 2022).

El manejo de los humedales distritales por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Secretaría Distrital de Ambiente ha comprendido la remoción de vegetación promoviendo la diversificación de hábitats y la regulación de perros en estos ecosistemas de humedal. No obstante, se han desconocido los datos de poblaciones de aves y sus requerimientos de hábitat, por lo que algunas estrategias han tenido efectos adversos, como el caso de la profundización del canal de Torca, que drenó gran parte del humedal (birdscolumbia, 2022).

A esto se suma otros factores que son una amenaza potencial, tales como la urbanización en áreas de humedales de la sabana de Bogotá, las quemas de juncal y desecación para actividades agropecuarias y vertimiento de residuos domésticos derivados de la ejecución de

proyectos de infraestructura. Dentro del área de estudio ha sido registrada en zonas pantanosas con un total de dos (2) individuos, información que permite asegurar que su población es muy pequeña y que se requieren varios esfuerzos dentro de las zonas de humedal para poder conservarla y, por ende, que su población pueda crecer (J. Mejía, 2023).

Esta especie fue seleccionada para la modelación de calidad de hábitat y corredores de movimiento al ser un habitante permanente de los humedales Torca - Guaymaral, ello de conformidad con lo consultado en la literatura y corroborado en el GBIF. También al encontrarse amenazada en el ámbito nacional y al ser una especie endémica de importancia para la conservación y sus hábitats, como el caso del Humedal Torca - Guaymaral. Su hábito de vida acuático la ubica como una especie de un rango de distribución restringido, y como tal, muy vulnerable a la alteración de su entorno. Es por ello que fue priorizada en la generación de mapas de calidad de hábitat y rutas de movimiento entre ambos humedales, con el fin de identificar zonas de importancia para el manejo de impactos.

Para esta especie se identificó una preferencia por las zonas de humedal y vegetación colindante, particularmente zonas pantanosas, pastos limpios, pastos enmalezados, Lagunas, lagos y ciénagas naturales, Vegetación Secundaria Alta del humedal Guaymaral, mientras que en el Humedal Torca se registró en la cobertura de Vegetación acuática sobre cuerpos de agua, ello a partir de los registros del GBIF y las coberturas determinadas para el estudio. Es así como estas zonas conforman nichos de mayor calidad de hábitat y menor resistencia para esta especie, expresados en color verde en la Figura 16, junto con las zonas de pastizales y vegetación arbórea colindantes que también ostentan nichos, alimentación, refugio, zonas de reproducción y

anidación.

En este caso, las zonas de color rojo, naranja y amarillo no ofrecen nichos a esta especie, y como tal, son de alta resistencia y baja calidad de hábitat (Ver Figura 16) de conformidad con el método de suma ponderada de valores de resistencia. Es así como la actual urbanización del área de estudio y las actividades agropecuarias refleja una baja disponibilidad de hábitats para esta especie en la zona suroccidental y nororiental del área de estudio, junto con los predios del Cementerio Jardines de Paz al suroriente. Se añade que en el separador de la autopista norte no se presentan registros de esta especie en el GBIF, sin embargo, en la zona colindante a dicho corredor junto a la red vial se presenta un registro, lo que indica que esta especie emplea las zonas húmedas remanentes o sus alrededores para moverse.

Como era de esperarse, esta especie presenta hábitats restringidos a los humedales Torca y Guaymaral y sus alrededores (Ver Figura 16), por lo que las rutas de movilidad para esta especie también son limitadas, en especial entre ambos ecosistemas, ubicándose una posibilidad de movimiento a través del Canal Guaymaral y Canal Torca que conecta con ambos humedales, viéndose la necesidad de cruzar el separador de la autopista norte.

Ciertamente, las áreas núcleo o fuente se localizan en las zonas pantanosas (Zpn), la vegetación acuática de cuerpos de agua (Vaa), las lagunas, lagos y ciénagas naturales (LI), la vegetación secundaria alta (Vsa), los pastos limpios (PI) y enmalezados (Pe) aledaños, con un total de 12 áreas núcleo o nichos potenciales (Ver Anexo b, *Porphyriops\_melanops*, DatosEntrada, Núcleo), los cuales se conectan entre sí al interior de los parques estructurantes

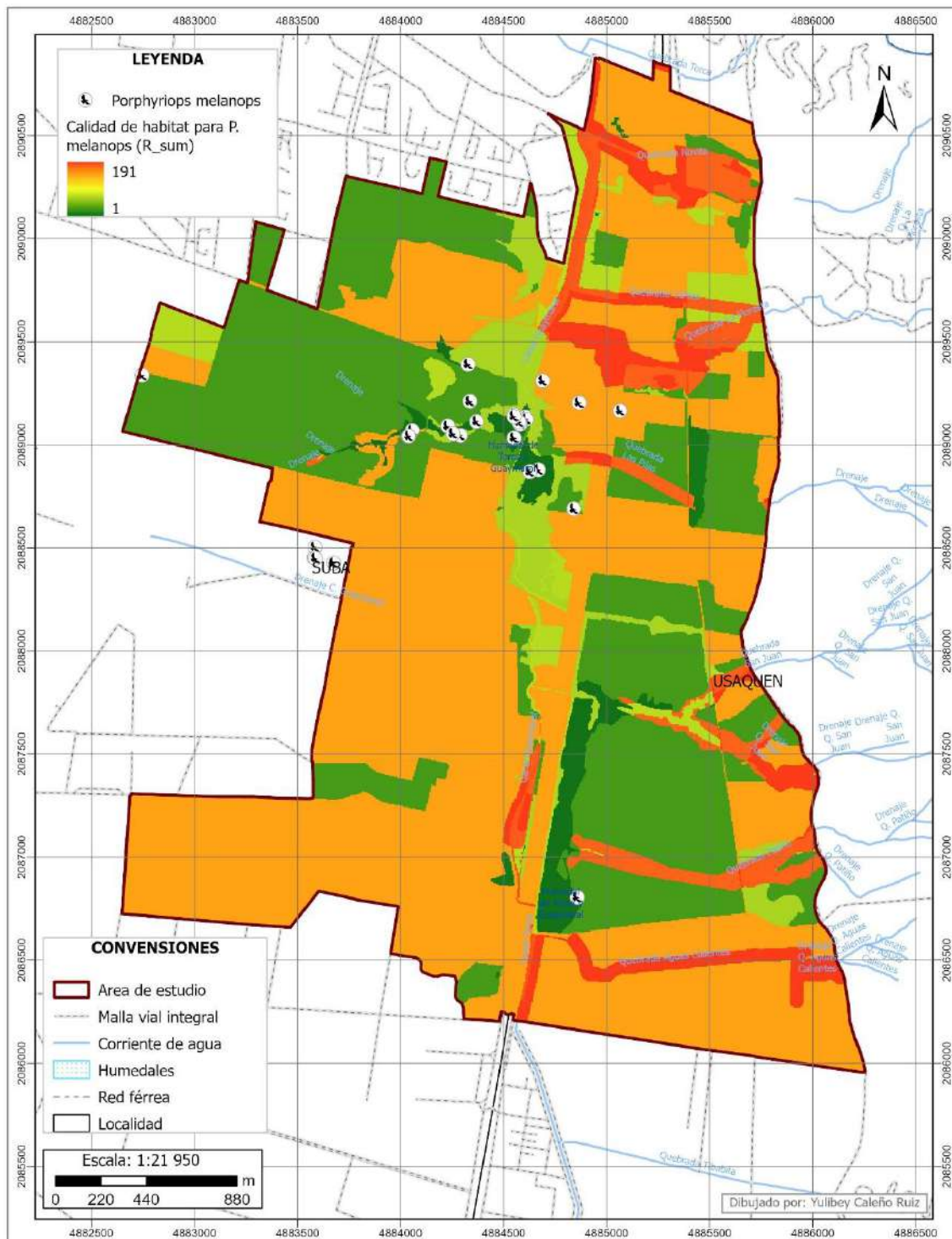
---

sector Suba y Usaquén, en las zonas de reserva distrital de humedal y zonas desprovistas de infraestructura antrópica a través de los corredores dibujados en color verde en la Figura 17.

A su vez, se identifican únicamente dos rutas de mayor importancia para la movilidad entre ambos ecosistemas de humedal, cuyas longitudes son de 1734 y 1770 metros de longitud, las cuales atraviesan el Humedal Torca, cruzan por el separador de la autopista norte, y se conectan al Canal Guaymaral y su vegetación colindante para luego conectarse con el Humedal Guaymaral (Ver Figura 17), por lo tanto esta zona es de priorización para las estrategias de manejo de impactos de los proyectos que se van a ejecutar en la zona, localizando elementos que faciliten el paso desde el Humedal Torca hacia el otro humedal, por el separador de la autopista norte. Lo anterior considerando el comportamiento de esta especie y su habitan acuático, lo que le limita a moverse entre ambos ecosistemas, en especial por la presencia de esta barrera que conforma la malla vial.

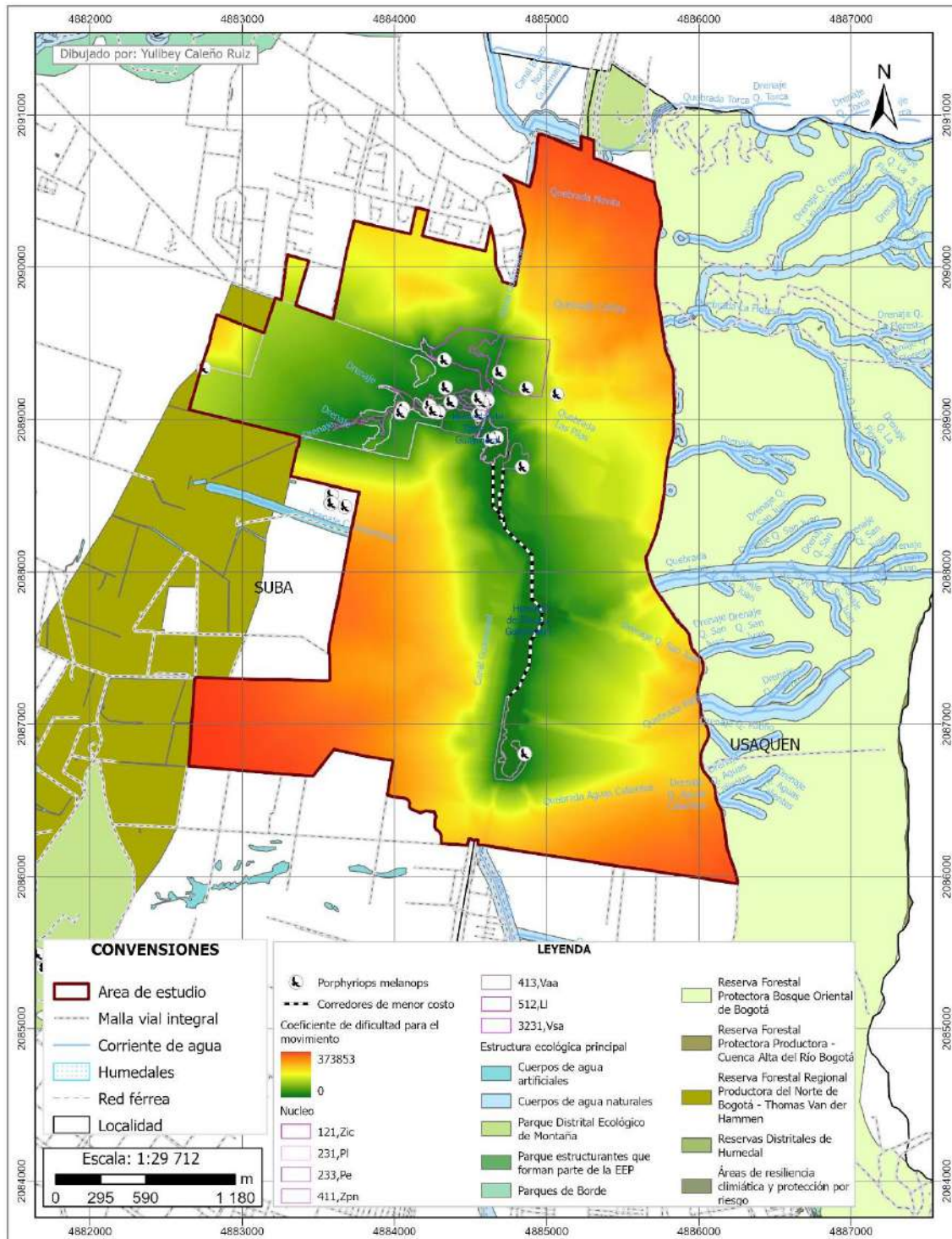
Contrariamente, en los demás sectores del área de estudio, representados en color rojo, amarillo y naranja no existen corredores que faciliten la movilidad a esta especie (Ver Figura 17), aspecto que la hace más vulnerable ante cualquier evento de transformación de los humedales y sus alrededores.

Figura 16 Calidad de hábitat *Porphyriops melanops*



Fuente: el autor

Figura 17 Corredores de movimiento *Porphyriops melanops*



Fuente: el autor

---

A diferencia del modelo de conectividad expuesto por la SDA y la CAR en el Plan de Manejo del Humedal Torca - Guaymaral (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a), este estudio presenta un modelo enfocado en especies, con diferentes dinámicas de movilidad (terrestres, acuáticas y voladoras), estado de amenaza, endemismo y requerimientos de hábitat, por lo que se expone a mayor detalle las condiciones de calidad de hábitat y corredores de movimiento para las especies de mayor importancia para la conservación, pues en el estudio de la CAR y la SDA no se discriminan estos aspectos, realizándose un único modelo que expone solamente criterios de coberturas de la zona de reserva sin relacionar las especies modeladas, entre otros parámetros como la presencia de vías, recursos hídricos y coberturas colindantes a los humedales.

En este sentido, este trabajo expone un análisis más detallado en términos de criterios metodológicos, aspectos del paisaje como la presencia de barreras antrópicas y el sistema hídrico, en suma, se presenta no solamente el mapa de calidad de hábitat sino que se modelan las rutas de menor costo y pasos de fauna de mayor relevancia para estas especies amenazadas o endémicas. De otra parte, se exponen no solamente los resultados de métricas a nivel de paisaje, sino que se presentan los análisis de fragmentación en nivel de coberturas seminaturales, incluyéndose un estudio multitemporal de coberturas que define la transformación del humedal en los últimos 14 años, aspectos que no fueron evaluados en la formulación del plan de manejo de los Humedales Torca - Guaymaral.

A diferencia de la modelación de conectividad de especies de aves realizada en el Plan de Manejo de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der

Hammen” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2014), este estudio presenta modelos de calidad de hábitat y rutas de movimiento para una especie de mamífero terrestre, siendo esta más vulnerable entre las condiciones urbanas. Destacando que para el presente estudio se generan modelos de calidad de hábitat que emplean no solamente criterios de coberturas, sino que implican otros parámetros de análisis como la distancia a vías, presencia de humedales y afluentes. Además, se modelan los corredores y rutas de menor costo empleadas por la especie para moverse, dándole un mayor detalle a la información generada.

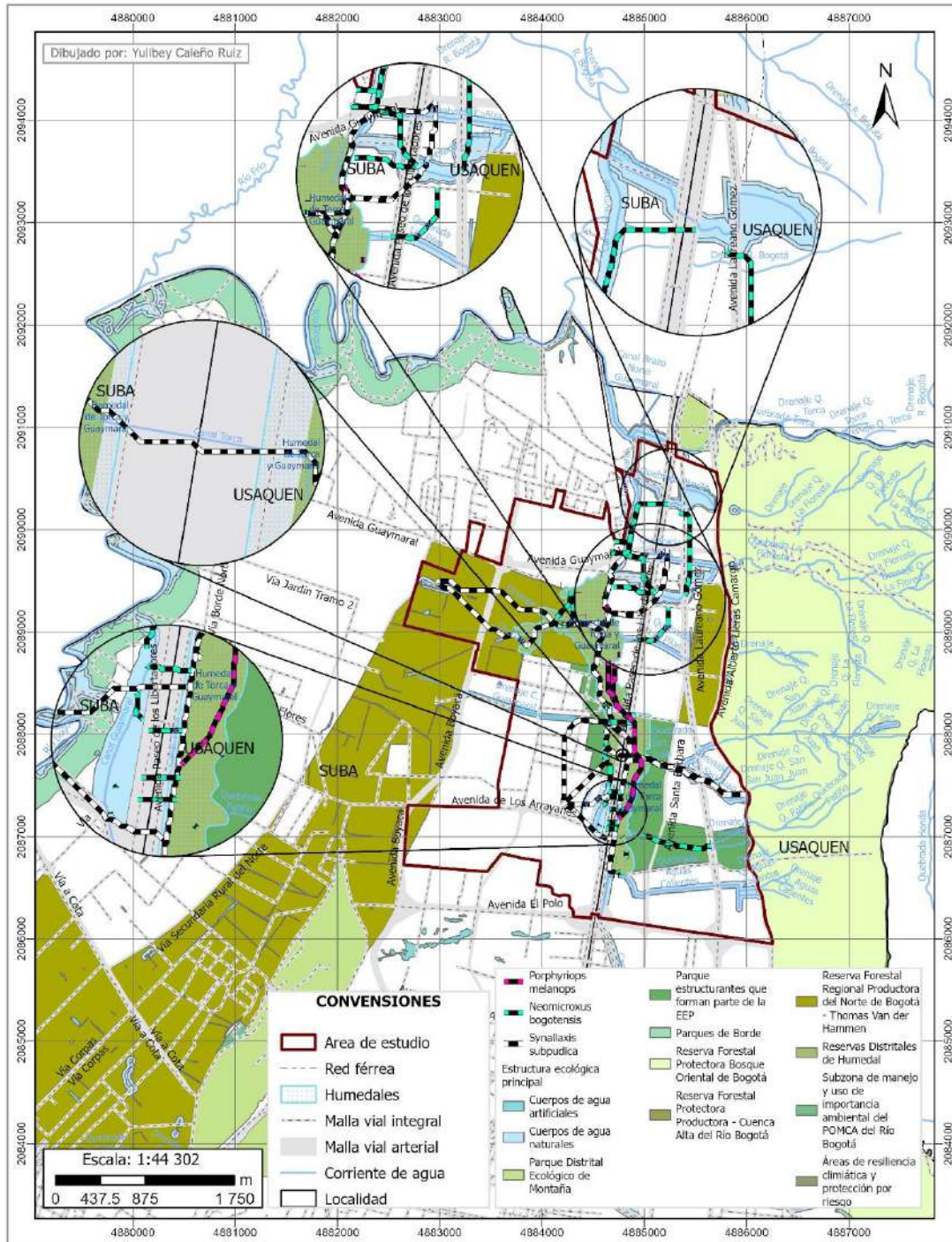
Aquí se expone una metodología diferente que permite complementar los estudios previos, agregándose una mayor cantidad de parámetros para el análisis de fragmentación, así como la generación de modelos de fauna que incluyan las dinámicas comportamentales, disponibilidad de recursos, barreras antrópicas y patrones de movilidad de las especies para poder generar modelos más precisos.

#### **7.3.3.4 Rutas de menor costo o pasos de fauna**

En esta sección se presentan las rutas de menor costo calculadas con anterioridad, ello con el fin de ilustrar las zonas de importancia para la implementación de medidas de manejo como la instalación de pasos de fauna en la autopista norte, entre otras zonas ubicadas al interior del área de estudio que sobrelapen con estos corredores del Humedal Torca y Guaymaral que, son los de mayor relevancia para la movilidad de las especies entre la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen” y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (Cerros orientales).

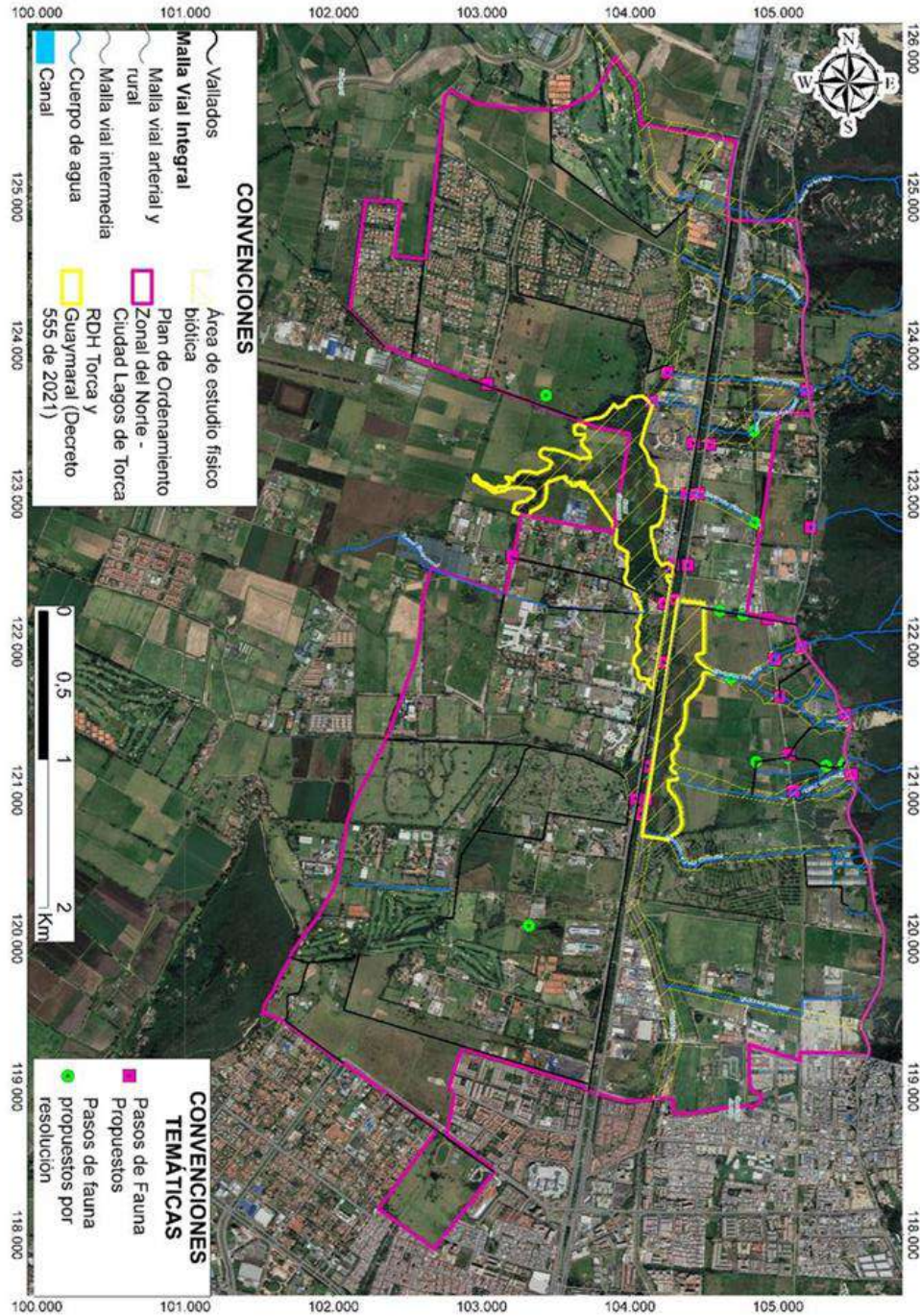
Se presentan a demás los pasos de fauna reglamentados a través de actos administrativos, los cuales deberán ser ejecutados por las empresas que desarrollen proyectos viales, así como las estrategias a desarrollar en el marco del plan zonal del norte y el Plan de Manejo de los Humedales Torca y Guaymaral. Todos ellos, siendo insumos fundamentales para la implementación de medidas de manejo y la toma de decisión.

**Figura 18** Áreas prioritarias para la instalación de pasos de fauna en el corredor de la autopista norte y zonas colindantes al humedal



Fuente: el autor

Figura 19 Distribución de pasos de fauna en cruce de vías proyectadas



Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a)

**Tabla 19** Pasos de fauna según normativa del año 2019

<b>Id</b>	<b>Nombre</b>	<b>Resolución</b>	<b>Descripción</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	Lucerna / Mazda Mavaia	Resolución 2757 de 2019 / Resolución 3515 de 2019	Quebrada San Juan con Av Laureano Gómez	104963,13	121857,02
2	Lucerna / Mazda Mavaia	Resolución 2757 de 2019 / Resolución 3515 de 2019	Quebrada San Juan con Av Laureano Gómez	104996,02	121624,40
3	El Bosque	Resolución 1603 de 2019	Cruce zonas verdes del Plan Parcial con futura Av Guaymaral	103435,07	123658,89
4	El Bosque	Resolución 1603 de 2019	Cruce zonas verdes del Plan Parcial con futura Av Guaymaral	104252,08	123836,66
5	Lucerna / Mazda Mavaia	Resolución 2757 de 2019 / Resolución 3515 de 2019	Quebrada San Juan con Av Santa Bárbara	104682,19	121751,22
6	Mazda Mavaia	Resolución 3515 de 2019	Vallado con vía 5	104607,00	122206,07
7	Lucerna / Mazda Mavaia	Resolución 2757 de 2019 / Resolución 3515 de 2019	Vallado con Av Santa Bárbara	104764,86	122177,83
8	Mazda Mavaia	Resolución 3515 de 2019	Vallado con Av Parque Guaymaral Norte	104853,37	121187,59
9	Mazda Mavaia	Resolución 3515 de 2019	Vallado con Av Parque Guaymaral Norte	105325,12	121160,34
10	Mazda Mavaia	Resolución 3515 de 2019	Vallado en Av Parque Guaymaral Norte con Av Laureano Gómez	105063,53	121215,00
11	Mazda Mavaia	Resolución 3515 de 2019	Quebrada Patiño con Av Parque Guaymaral Norte	105445,11	121173,90
12	Sorrento	Resolución 3578 de 2019	Av Laureano Gómez con Q. La Floresta	104837,93	123418,72
13	Sorrento / Santa Maria	Resolución 3578 de 2019 / Resolución 3728 de 2019	Av Laureano Gómez con Q. Las Pilas	104843,21	122802,71
14	El Bosque	Resolución 1603 de 2019	Cruce zonas verdes del Plan Parcial con futura Av Guaymaral	104139,35	123608,93

Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-, 2022a)

---

## 8. Conclusiones

### 8.1 Fragmentación

La vegetación secundaria alta/baja y las zonas verdes urbanas constituyen los parches más representativos en el área de estudio, los cuales, son fuente o áreas núcleo de las especies de fauna, tal como se registra en el GBIF para las especies de interés de este estudio. Se asegura que en el escenario actual las actividades, obras o proyectos existentes en el paisaje han generado la pérdida significativa de hábitats, con una representatividad nula de coberturas naturales y una baja proporción de coberturas seminaturales (11,70%).

Se define que se ha generado fragmentación de las coberturas naturales y seminaturales debido a que el valor del índice de tamaño efectivo de malla (MESH) fue de 0,86 para el escenario actual, siendo este valor inferior a los registrados para otros paisajes que cuentan con una mayor proporción de coberturas vegetales de tipo natural y seminatural como la Sierra Nevada de Santa Marta<sup>7</sup> con valores superiores a este valor (MESH=17,02).

De igual forma, las clases de cobertura seminatural presentan valores bajos de este índice, siendo las coberturas de zonas verdes urbanas y vegetación secundaria alta las que cuentan con la mayor representatividad en el paisaje. En este sentido, la plantación forestal, las rondas cuerpos

---

<sup>7</sup> Proyecto UPME 10 – 2019 Línea de transmisión río Córdoba – Bonda (TERMOCOL) 220 kV, Tramo dos (2).

de agua y la vegetación secundaria baja, comprenden la menor representatividad y mayor grado de fragmentación.

Partiendo de los análisis de forma, las características de las zonas verdes urbanas, las rondas de vegetación y la vegetación secundaria favorecen en la conectividad funcional y estructural, pero también pueden tratarse de corredores biológicos debido a su elongación, complejidad, formas irregulares o lineales.

Por otra parte, en el paisaje actual, la distancia euclidiana al vecino de la misma clase más cercano oscila entre 10,00 y 559,63 metros para las coberturas seminaturales, valores considerados como moderados a bajos para la conectividad estructural, en el caso de especies que presentan fácil desplazamiento o son generalistas, pues se consideran distancias largas para desplazarse a otros parches y a ello se suma la presencia de barreras como las vías que dificultan aún más el desplazamiento de especies terrestres.

Es de añadir que las coberturas seminaturales presentan altas a moderadas condiciones de distanciamiento entre parches para el desplazamiento de la fauna silvestre. Estos valores de las métricas PROX\_MN y ENN\_MN son indicativos de que en el paisaje actual son evidentes los efectos de la fragmentación de coberturas, debido a la dominancia de la matriz antrópica o transformada que aún conserva parches seminaturales con moderadas a bajas condiciones de agregación o distanciamiento entre parches de la misma categoría.

Los fragmentos de cobertura presentan entre 33,07% y 65,82% de área sin efecto de

---

borde, siendo este valor correspondiente a la proporción del parche que es área núcleo y por tanto no sufre los efectos de borde. Dicho esto, los parches de cobertura seminatural cuentan con una baja a moderada proporción de área sin efecto de borde, con valores cercanos al 70% de área núcleo para la mayoría de las coberturas considerando una profundidad de borde de 10 metros, siendo así menormente influenciados por el efecto de borde en estas zonas núcleo.

Lo anterior se debe a que este paisaje se encuentra representado por una matriz antrópica, con parches de mediano y pequeño tamaño que cuentan con un área núcleo transformada, también al encontrarse poco representados en términos de cantidad de parches.

Se asegura que a lo largo de los años (año 2010 al 2024) se generó una ampliación de la frontera agropecuaria e infraestructura en algunos sectores del paisaje, motivo por el cual las coberturas vegetales presentaron una reducción en su extensión total a lo largo del tiempo, así como también se evidencian procesos sucesionales que conllevaron al aumento de algunas coberturas seminaturales a lo largo del tiempo, en especial en los alrededores del Humedal Torca – Guaymaral que forman parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá.

Se resalta que en el año 2010 las coberturas seminaturales o transformadas de rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, pastos arbolados y vegetación secundaria alta presentaban una menor extensión en comparación con el escenario actual, lo que es indicativo de eventos sucesionales. En tanto que las coberturas de plantación forestal y vegetación secundaria baja presentaban una mayor extensión en el año 2010, lo que refleja alteraciones antrópicas en sus parches remanentes.

---

Con ello se asegura que a lo largo de los años se generó una ampliación de la frontera agropecuaria e infraestructura en algunos sectores del paisaje, motivo por el cual estas coberturas presentaron una reducción en su extensión total a lo largo del tiempo, así como también se evidencian procesos sucesionales que conllevaron al aumento de las rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, pastos arbolados y vegetación secundaria alta. Mientras que las zonas verdes urbanas se mantuvieron en similares condiciones en el transcurso del tiempo.

Estos cambios en el tamaño de los parches de coberturas pueden ser el resultado de los impactos antrópicos o procesos de sucesión natural que a lo largo de los años condicionaron la transformación de estas coberturas, pasando a tener parches de menor tamaño o que pasaron a conformar coberturas de mayor porte. Notablemente pasando a ocupar de 12,21 a 11,70%, con una diferencia solamente del 1% del aumento de la fragmentación.

Del año 2010 al 2024 se puede apreciar una reducción en el área núcleo total y área núcleo promedio de la plantación forestal y la vegetación secundaria baja, con un incremento para las rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas y la vegetación secundaria alta como resultado de los eventos sucesionales, mientras que las zonas verdes urbanas se mantuvieron en condiciones similares.

En cuanto al índice de área núcleo, este refleja que las coberturas seminaturales que se sometieron a un efecto de borde en tal periodo, dados los cambios en la composición de parches fueron la plantación forestal y la vegetación secundaria baja, ello debido a la reducción de su

porcentaje de área núcleo. Contrario a ello, para los pastos arbolados y vegetación secundaria alta se aprecia un aumento en el porcentaje de área núcleo en dicho periodo como resultado de los eventos de sucesión. Mientras que las zonas verdes urbanas y rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas mantuvieron un porcentaje de área núcleo similar.

Respecto a lo anterior se resalta que los efectos de borde que evidenciaron las coberturas del año 2010 al 2024 obedecen a impactos antrópicos por agricultura y ampliación de la infraestructura comercial e industrial. Para las rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, pastos arbolados y vegetación secundaria alta obedecen a dinámicas sucesionales en las zonas colindantes con los humedales, las cuales generaron cambios en la extensión de las coberturas, su cantidad de parches y tamaño promedio, de igual forma podría hablarse de una recuperación de las zonas núcleo de la cobertura a lo largo de los años consecuente de los procesos de sucesión.

Del año 2010 al 2024 se puede apreciar un cambio leve en la forma de los parches de coberturas seminaturales con una tendencia a ser más irregulares y complejos en el escenario actual, a excepción de las coberturas seminaturales de la vegetación secundaria baja y la plantación forestal que reflejan cambios en valores unitarios de esta métrica, ello debido a los procesos antrópicos y naturales, pasando a tener formas más complejas e irregulares.

En otro sentido, las coberturas seminaturales reflejan notorios cambios en su elongación a lo largo del tiempo pasando a tener parches más elongados para las rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, los pastos arbolados, y la plantación forestal, en cambio las demás coberturas redujeron su elongación a lo largo del tiempo, como se evidencia para la vegetación secundaria

baja, por cambios en su forma, área núcleo y tamaño promedio a lo largo del tiempo. Mientras que las zonas verdes urbanas y vegetación secundaria alta mantuvieron un mismo patrón de elongación.

Entre el periodo de 2010 y 2024 se aprecia que la vegetación secundaria baja (MESH= 0,14 y 0,10) tiende a aumentar su fragmentación, contrario a las demás coberturas que tienden a recuperarse en dicho periodo (Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, pastos arbolados y vegetación secundaria alta), con excepción de las zonas verdes urbanas y plantación forestal que se mantuvieron en las mismas condiciones.

No puede asumirse un proceso de ampliación de fragmentación del año 2010 al 2024 en las zonas de la Estructura Ecológica Principal pues a pesar de apreciarse cambios en la composición, borde, configuración y forma de los parches, el tamaño efectivo de malla total de las coberturas seminaturales no cambió negativamente en el nivel de paisaje en ambos escenarios, tendiendo a la recuperación (aumento de la métrica MESH o tamaño efectivo de malla), como respuesta de sucesiones de las coberturas en mención.

Sin embargo, en otras zonas colindantes con el humedal se aprecia la ampliación de la infraestructura antrópica, en especial en zonas de pastizales y áreas industriales o comerciales que, a pesar de no ser coberturas vegetales si reflejaron los cambios durante la interpretación de coberturas realizada.

Es decir que en las zonas de la Estructura Ecológica Principal (EEP) se tendió a la

sucesión de las coberturas promovidos por su figura de protección, sin embargo, en los alrededores es evidente la ampliación de la infraestructura antrópica a lo largo del tiempo. Aspecto que puede aumentar con el desarrollo de proyectos de ampliación de la autopista norte, la construcción de la red de alta tensión y el megaproyecto de vivienda Lagos de Torca que provocarían la reducción de las coberturas seminaturales remanentes, y como tal, afectarían la conectividad estructural y funcional que aportan las cercas vivas y corredores aledaños a estos predios.

Con la métrica de fragmentación MESH se evidencia la ganancia de coberturas vegetales en estas zonas de la EEP dados estos eventos de sucesión natural a lo largo del tiempo, lo que permite asegurar que se redujo la fragmentación en dicho periodo en su interior, y como tal, se reflejan eventos de rehabilitación del ecosistema. Aspecto que puede verse comprometido por la proyección de estas infraestructuras antrópicas en sus alrededores.

Tal como lo indica la métrica de distancia euclidiana al parche más cercano (ENN), del 2010 al 2024 las coberturas de zonas verdes urbanas y rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas se mantienen en rangos similares y cuentan con los parches más cercanos a fragmentos de su misma categoría o que la distancia entre los mismos es mucho más corta en el escenario actual. Por su parte, los pastos arbolados, la vegetación secundaria alta y plantación forestal tendieron a aumentar la distancia a parches de su misma clase en dicho periodo. En cambio, la vegetación secundaria baja, tendió a encontrarse menos distante o más cercana a parches vecinos de su misma clase en dicho periodo.

---

En este caso, del año 2010 al 2024 las coberturas surtieron transformaciones en su forma, borde, tamaño y cantidad de parches, lo que conllevó a que los parches de cobertura seminatural se encuentren más cercanos o contiguos en la actualidad para la vegetación secundaria baja, pero en algunas otras coberturas se tendió al aislamiento de parches, en especial la vegetación secundaria alta y la plantación forestal.

Del año 2010 al año 2024 se puede apreciar una reducción de la conectividad estructural de la vegetación secundaria baja, con una tendencia al aumento de la conectividad de la vegetación secundaria alta y los pastos arbolados, ello como resultado de los cambios en el número parches, teselas y distancia a parches vecinos. No obstante, las zonas verdes urbanas, plantación forestal y rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, no reflejaron cambios relevantes en la conectividad estructural entre dicho periodo.

A este punto se puede asegurar que el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial como el caso de la ampliación de carriles de la autopista norte, el proyecto de vivienda lagos de torca, la construcción de proyectos de servicios públicos de energía y acueducto pueden poner en riesgo las zonas que se han recuperado a lo largo del tiempo por eventos de sucesión en las zonas colindantes con el humedal Torca – Guaymaral, así como promover el aumento de los efectos de borde identificados en las coberturas analizadas.

## 8.2 Conectividad funcional

En cuanto a la conectividad funcional, se estableció que el Humedal Torca – Guaymaral es una importante zona para la conservación de especies amenazadas o endémicas como el Pijuí de Cundinamarca, (*Synallaxis subpudica*), el ratón arrocero (*Neomicroxus bogotensis*) y la polla sabanera (*Porphyriops melanops*), al igual, funciona como un corredor ecológico de conectividad entre la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá – Tomas van der Hammen , sirviendo como zonas de hábitat y parcheo de las especies en mención, cuyas coberturas seminaturales y las zonas propias de humedal, permiten la conectividad entre estas dos reservas.

Esto corrobora que la zona norte de Bogotá es un importante conector ecológico urbano, y como tal, debe ser conservado de conformidad con el Plan de Ordenamiento Territorial y el plan zonal del norte. Pese a que en la actualidad se evidencien impactos sobre la conectividad estructural de ambos humedales, ello por la construcción de la autopista norte y las zonas antrópicas colindantes, aún prevalecen corredores de movimiento que emplean las especies como *Synallaxis subpudica* y *Neomicroxus bogotensis* para movilizarse por el ecosistema, entre las dos reservas forestales, sin embargo, la especie *Porphyriops melanops* presenta un hábitat reducido particularmente a las zonas con presencia de agua y vegetación acuática, vitales para su supervivencia, lo que la hace más vulnerable al desarrollo de proyectos de infraestructura.

Esta especie también presenta unas rutas de conectividad muy restringidas y sus capacidades de movilidad no les permite desplazarse fácilmente ante las condiciones de disturbio, pues no es una especie voladora sino que realiza desplazamientos cortos y de bajo alcance en términos de altura. De esta manera, se cataloga como la especie más vulnerable ante los impactos actuales y la futura construcción de los proyectos de infraestructura de vivienda debido a sus dinámicas comportamentales. Esto en el caso de alterarse las zonas de humedal y las zonas pantanosas aledañas.

No es de olvidar que *Neomicroxus bogotensis* también presenta hábitats muy específicos como los pastizales, vegetación secundaria y zonas pantanosas, los cuales pueden ser afectados por estos proyectos al destruirse los nichos y rutas de movimiento. Por el contrario, *Synallaxis subpudica* puede volar de manera rápida y responder de manera oportuna ante condiciones de disturbio, sin embargo, sería la más afectada por la línea de transmisión de energía que se va a construir sobre el corredor de la autopista norte por susceptibilidad a eventos de colisión con los conductores de energía, proyecto que ya cuenta con licencia ambiental.

Mientras que la ampliación de la autopista norte aún sigue en evaluación por parte de la autoridad ambiental. Siendo este último proyecto junto con el megaproyecto lagos de torca los que generarían el mayor impacto sobre las dinámicas de movilidad y corredores ecológicos existentes para todas las especies evaluadas.

Para terminar, se asegura que las coberturas vegetales y arbolado que se presentan en el corredor verde de la autopista norte, así como la vegetación secundaria alta y baja, las coberturas

---

aledañas a las quebradas y canales, la plantación forestal, la vegetación acuática y las zonas pantanosas conforman los corredores de movimiento o pasos de fauna de mayor relevancia para las especies analizadas.

De esta manera *Synallaxis subpudica* y *Neomicroxus bogotensis* cuentan con óptimos corredores o rutas para la movilidad desde los cerros orientales hacia la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá – Tomas van der Hammen, ello a través de la vegetación colindante a quebradas, las zonas de humedal y la vegetación aledaña (plantación forestal, vegetación secundaria alta y baja, pastos arbolados, zonas verdes urbanas y vegetación de rondas), junto con algunas cercas vivas. En este caso, constituyen los nichos de mejor calidad para estas especies, conformando áreas núcleo o parches fuente.

Mientras que *Porphyriops melanops* no cuenta con óptimas condiciones de nichos o corredores que faciliten la movilidad entre ambas reservas, pues su hábitat es restringido a zonas de humedal y coberturas vegetales de sus alrededores, siendo más vulnerable ante los disturbios.

## 9. Recomendaciones

Se sugiere incluir los análisis de especies comunes en este humedal, pues a pesar de no encontrarse amenazadas o ser endémicas, tienen un rol importante en este ecosistema, al igual que son vulnerables a los atropellamientos en la autopista norte y demás impactos antrópicos. Sería oportuno incluir un análisis para una especie de ave que presente mayor distancia o altura de vuelo, así como otras categorías de amenaza, requerimientos de hábitat, movilidad o diferencias en etología. Los análisis de conectividad funcional y fragmentación pueden ser desarrollados en un escenario con proyecto, a partir de los diseños de obras de infraestructura proyectadas a construir, pues para este caso, no fueron suministrados por las empresas.

De esta manera, se sugiere emplear en los corredores de menor costo identificados, la instalación de pasos de fauna o medidas de manejo que eviten la afectación de los nichos y zonas de movimiento de las especies evaluadas, al tratarse de especies amenazadas y endémicas que merecen especial atención. En este caso, para evitar el atropellamiento de fauna en la autopista norte y la afectación por colisión con las redes de alta tensión, así como para el mantenimiento de la conectividad ecológica, es necesario que estos proyectos formulen y ejecuten las estrategias para mantener la conectividad entre las reservas forestales y la planicie de inundación del río Bogotá.

Estos corredores de fauna identificados pueden ser tenidos en cuenta para la elaboración de diseño de infraestructuras que permitan el paso de las especies entre ambos humedales, puede ser a través de los Box culvert existentes o la construcción de mallas aéreas, entre otros pasos de

---

fauna. Al igual, es necesaria durante la fase de construcción de estos proyectos la implementación de medidas de rescate, ahuyentamiento y reubicación de la fauna.

Ciertamente, como se sugiere en otros estudios, es oportuno sembrar especies para aumentar corredores, como por ejemplo las cercas vivas. Convendría también aunar esfuerzos para controlar las poblaciones de especies vegetales exóticas y animales, domésticas y no domésticas, para reducir su impacto sobre los mamíferos y aves, al igual que las dinámicas ecológicas de los humedales. Paralelamente, sería necesario fomentar actividades para que los habitantes reconozcan a los mamíferos silvestres y el grupo de aves, y tengan un mayor compromiso en su conservación y conozcan el papel que cumplen.

Se podrían fomentar sistemas agroforestales para garantizar la conectividad estructural y funcional en predios colindantes con el Humedal Torca y Guaymaral, así como se debe garantizar el cumplimiento de la reglamentación para la EEP en términos de armonizar este sector junto con los parques estructurantes sector Suba y Usaquén en el marco de la construcción del proyecto Lagos de Torca.

## 10. Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente -AEMA-. (2003). *Fragmentación del paisaje en Europa*. TAU Consultora Ambiental.
- Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía*, 30(2), 9–29.
- Decreto 555 del 29 de diciembre 2021. Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., (2021).
- Alonso-F., A. M., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 140–156. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, 71, 355–366.
- Avibase. (2020). *Pijú de Cundinamarca Synallaxis subpudica Sclater, PL, 1874*.
- Ayerbe-Quiñones, F. (2019). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana* (W. C. S. Program (ed.); Segunda Ed). Panamericana Formas e impresos.
- Babí Almenar, J., Bolowich, A., Elliot, T., Geneletti, D., Sonnemann, G., & Rugani, B. (2019). Assessing habitat loss, fragmentation and ecological connectivity in Luxembourg to support spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, 189, 335–351. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.004>
- Badii, M. H., & Landeros, J. (2007). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 2(1), 26–38. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cuantificaci?n+de+la+fra>

gmentaci?n+del+paisaje+y+su+relaci?n+con+Sustentabilidad#0

- Bennett, A. (2004). *Enlazando el Paisaje: el papel de los corredores biológicos y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. IUCN.
- Birds colombia. (2020). *Chamicero Cundiboyacense/Silvery-throated Spinetail/Synallaxis subpudica*. <https://birdscolombia.com/2020/02/28/chamicero-cundiboyacense-silvery-throated-spinetail-synallaxis-subpudica-e/>
- birdscolombia. (2022). *Polla Sabanera/Spot-flanked Gallinule/ Porphyriops melanops*. <https://birdscolombia.com/2022/03/07/gallinula-melanops-spot-flanked-gallinule-porphyriops-melanops/>
- Botequilha, L. A., Miller, J., Ahern, J., & Mcgarigal, K. (2006). *Measuring Landscapes. A Planner's Handbook*.
- Cabacinha, C. D., & Castro, S. S. (2009). Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 257, 2157–2165. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.030>
- Canon, C. (2020). Alpha-taxonomy in the cricetid rodent *Neomicroxus*, a first assessment. *Therya*, 11(3), 374–389.
- Cassola, F. (n.d.). *Neomicroxus bogotensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T727A22380569>
- Colson, F., Bogaert, J., & Ceulemans, R. (2011). Fragmentation in the Legal Amazon, Brazil: Can landscape metrics indicate agricultural policy differences? *Ecological Indicators*, 11, 1467–1471. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.020>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2014). Componente descriptivo. In

*Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. "Thomas van der Hammen"* (pp. 1–473). Subdirección Administración Recursos Naturales.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR-, & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-. (2022a). Descripción. In *Actualización del plan de manejo ambiental de los humedales de Torca y Guaymaral* (Vol. 1, Issue 1, p. 1052).

<http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng->

[8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN](http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005)

[\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](https://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR-, & Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-. (2022b). Preámbulo. In *Actualización del plan de manejo ambiental de los humedales de Torca y Guaymaral* (p. 37).

Resolución Conjunta CAR - SDA No.º 029 del 8 febrero 2023 "Por la cual se aprueba la actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Reservas Distritales de humedal de Torca y Guaymaral declarados como Área Protegida Distrital y se adoptan otras determi, (2023).

Correa Ayram, C. A., Mendoza, M. E., & López Granados, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7–23.

Curay-Guala, J. J. (2019). *Caracterización morfométrica y modelamiento distribucional de Neomicroxus latebricola (Rodentia: Cricetidae) en el Ecuador*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33616.56321>

- 
- D'Eon, R. G., Glenn, S. M., Parfin, I., & Fortin, M. J. (2002). Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. *Conservation Ecology*, 6, 10.
- DAMA. (2006). *Política de Humedales del Distrito Capital: Plan estratégico para su restauración, conservación y manejo* (1ra ed.).
- Díaz, J. A., Pérez-Tris, J., Tellería, J. L., Carbonell, R., & Santos, T. (2005). Reproductive investment of a lacertid lizard in fragmented habitat. *Conservation Biology*, 19, 1578-1585.
- Enel Colombia S.A. E.S.P., & Ingedisa S.A. (2023). *Estudio de Impacto Ambiental proyecto "Subestación eléctrica Guaymaral y sus líneas de transmisión a 115 kV."*
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 487–515.
- Fahrig, L., & Merriam, G. (1994). Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology*, 8, 50–59.
- Forman, R. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.
- Frankham, R. (1995). Conservation Genetics. *Annual Review of Genetics*, 29, 305–327.
- Franklin, J. F., & Forman, R. T. T. (1987). Creating landscape patterns by forest cutting: Ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1(1), 5–18.  
<https://doi.org/10.1007/BF02275261>
- Gallineta Pintada* - *eBird*. (n.d.). Retrieved January 11, 2025, from [https://ebird.org/species/spfgal1?siteLanguage=es\\_AR](https://ebird.org/species/spfgal1?siteLanguage=es_AR)
- Galván-Guevara, S., Ballut-Dajud, G., & De la Ossa-V, J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia.

*Biota Colombiana*, 16(2), 149–157.

[http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9439/Biota\\_162\\_2015-baja\\_1\\_p151-159.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9439/Biota_162_2015-baja_1_p151-159.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

García-Quiroga, Fernando 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.

García, D. (2008). El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial. In F. . Maestre, A. Escudero, & A. Bonet (Eds.), *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones* (pp. 35–73). URJC-AEET-CAM.

García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2), 1–10. <https://doi.org/10.7818/18>

García, D., Chacoff, N. P., Herrera, J. M., & Amico, G. C. (2009). La escala espacial de las interacciones planta-animal. In R. Medel, M. A. Aizen, & R. Zamora (Eds.), *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones* (pp. 133–156). Editorial Universitaria.

García, D., & N.P., C. (2007). Scale-dependent effects of habitat fragmentation on hawthorn pollination, frugivory and seed predation. *Conservation Biology*, 21, 400–411.

Gustafson, E. J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art. *Ecosystems*, 1, 143–156.

Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics. *Nature*, 396, 41–49.

Hedrick, P. W. (2001). Conservation genetics: where are we now? *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 629–636.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014).

- 
- Metodología de la investigación. In *McGraw-Hill Interamericana* (6th ed.). Mc Graw Hill.  
<http://www.digitalrepositorio.com/files/original/97a5883a1d6106e6ac908afd7ea838d1.pdf>
- Hilty, S. & Brown, W. (2001). *Guía de las Aves de Colombia*. Princenton University Press.
- Holland, J. D., Bert, D. G., & Fahrig, L. (2004). Determining the spatial scale of species' response to habitat. *Bioscience*, *54*, 227-233.
- Kattan, G. H., & Murcia, C. (2002). A review and synthesis of conceptual frameworks for the study of forest fragmentation. In G. A. Bradshaw & H. A. Mooney (Eds.), *How landscapes change: human disturbance and ecosystem fragmentation in the Americas* (pp. 183–200). Springer-Verlag.
- Keitt, T. H., Urban, D. L., & Milne, B. T. (1997). Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation Ecology*, *1*, 4.
- Kindlmann, P., & Burel, F. (2008). Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology*, *23*(8), 879–890. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9245-4>
- Lens, L., & van Dongen, S. (1999). Evidence for organism-wide asymmetry in five bird species of a fragmented afrotropical forest. *Proceedings of the Royal Society of London, B* *266*, 1055–1060.
- Liévano Latorre, L. F., & López Arévalo, H. F. (2014). Non-Flying Mammal Community in a Periurban Area in The Andes, Cundinamarca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *20*(2), 193–202. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n2.43477>
- Lindenmayer, D. B., & Fischer, J. (2006). *Landscape change and habitat fragmentation*. Island Press.
- López-Barrera, E. A., Duarte, M., & Moreno, R. (2015). Diagnóstico Ecológico del Humedal Torca - Guaymaral. In *Humedal Torca - Guaymaral: Iniciativas para su conservación*. (p.

- 123). Universidad Sergio Arboleda Universidad El Bosque Red Ambiental de Universidades Sostenibles.
- Lord, J. M., & Norton, D. A. (1990). Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology*, 4, 197-202.
- Luck, G. W. (2003). Differences in the reproductive success and survival of the rufous treecreeper (*Climacteris rufa*) between a fragmented and unfragmented landscape. *Biological Conservation*, 109, 1–14.
- Ma, J., Li, J., Wu, W., & Liu, J. (2023). Global forest fragmentation change from 2000 to 2020. *Nature Communications*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39221-x>
- María, A., & Mora, G. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(7), 13–27.
- Marín Valencia, A. L., Toro Restrepo, L. J., & Uribe Soto, S. I. (2008). Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 23, 43–54.
- Mas, J.-F., & Correa Sandoval, J. (2000). Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida " Los Petenes ", Campeche , México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 43, 42–59.
- Mcgarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. University of Massachusetts.
- Meza-Elizalde, M. C., & Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la Amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*, 21(2), 205–223. <https://doi.org/10.14483/2256201x.12330>

- Decreto 1468 deL 06 agosto de 2018 "Por el cual se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, con el fin de designar al Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional, 1 (2018). [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=87903](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=87903)
- Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17, (2018).
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 58–62.
- Noss, R. (1992). *The wildlands project: land conservation strategy*. <http://thealternativeview.com/thewildlandsproject.htm>
- Ordóñez, M. C., & Figueroa-Casas, A. (2009). Estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación sobre las coberturas boscosas en la cuenca del río Palacé. In A. Figueroa Casas & M. P. Valencia Rojas (Eds.), *Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos, departamento del Cauca*.
- Paola, I. (2011). *Modelo de conectividad espacial empleando sistemas de información geográfica, calidad de hábitat y distribución caso tapir de montaña (Tapirus pinchaque) en el eje cafetero colombiano*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pardo Umaña, C. (1988). *Haciendas de la sabana*.
- Paredes, C., González-Maya, J. F., & Pérez-Torres, J. (2020). *Neomicroxus bogotensis*. In A. P.-Romero & J. F. González-Maya (Eds.), *Los rastros ocultos de Chingaza: guía de mamíferos del Parque Nacional Natural Chingaza* (pp. 140–141). Parques Nacionales Naturales de Colombia y ProCAT Colombia.
- Peris Martinez, M. B. (2014). Fragmentación de hábitats por infraestructuras lineales de

- transporte en España. *Revista Digital de Medio Ambiente Ojeando La Agenda*, 29, 12–14.
- Pinto, F. A. S., Bager, A., Clevenger, A. P., & Grilo, C. (2018). Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) conservation in Brazil: Analysing the relative effects of fragmentation and mortality due to roads. *Biological Conservation*, 228, 148–157.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.023>
- Primack, R. B., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., & Massardo, F. (Eds.). (2001). *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica.
- Remolina-Angarita, F. (2006). Propuesta de tipología de corredores para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. *Revista Nodo N° 1, 1*, 13–20.
- Santos, A. R., Antonio Alvares Soares Ribeiro, C., Oliveira Peluzio, T. M., Esteves Peluzio, J. B., Queiroz, V. T., Figueira Branco, E. R., Lorenzon, A. S., Domingues, G. F., Marcatti, G. E., Castro, N. L. M., Teixeira, T. R., Santos, G. M. A. D. A., Santos Mota, P. H., Ferreira da Silva, S., Vargas, R., Carvalho, J. R., Macedo, L. L., Silva Araújo, C., & Almeida, S. L. H. (2016). Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. *Journal of Environmental Management*, 183, 1050–1063.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.073>
- Saunders, D. A., Hobbs, R. J., & Margules, C. R. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology*, 5, 18–32.
- Saura, S., & Martínez-Millán, J. (2001). Sensitivity of Landscape Pattern Metrics to Map Spatial Extent. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(9), 1027–1036.
- Steffan-Dewenter, I., Munzenberg, U., Burger, C., Thies, C., & Tschardtke, T. (2002). Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83, 1421–1432.
- Tellería, J. L., Virgós, E., Carbonell, R., Pérez-Tris, J., & Santos, T. (2001). Behavioural

---

responses to changing landscapes: flock structure and anti-predator strategies of tits wintering in fragmented forests. *Oikos*, 95, 253–264.

Tomimatsu, H., & Ohara, M. (2002). Effects of forest fragmentation on seed production of the understory herb *Trillium camschatcense*. *Conservation Biology*, 16, 1277–1285.

Turner, I. M. (1996). Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, 33, 200–205.

Turner, M. G. (1990). Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 4(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/BF02573948>

With, K. A., & King, A. W. (1999). Dispersal success on fractal landscapes: a consequence of lacunarity thresholds. *Landscape Ecology*, 14(1), 73–82.  
<https://doi.org/10.1023/A:1008030215600>

---

## Anexo A: Memorias de cálculo Fragstats

1. Descriptor
2. Modelo
3. Ráster
4. Resultados
5. Tablas

**Nota:** Todos los anexos se encuentran disponibles en el siguiente link:

Onedrive Universidad Manizales

[https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176\\_umanizales\\_edu\\_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu](https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176_umanizales_edu_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu)

Google Drive

[https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV\\_?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV_?usp=sharing)

---

## Anexo B: Memorias de cálculo conectividad funcional

1. GBIF
2. Neomicroxus\_bogotensis
3. Porphyriops\_melanops
4. Synallaxis\_subpudica
5. Plantillas

**Nota:** Todos los anexos se encuentran disponibles en el siguiente link:

Onedrive Universidad Manizales

[https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176\\_umanizales\\_edu\\_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu](https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176_umanizales_edu_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu)

Google Drive

[https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV\\_?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV_?usp=sharing)

---

## Anexo C: Lista de anexos cartográficos

1. Coberturas de la tierra año 2010 y 2024
2. Imagen satelital año 2010
3. Ortofoto Lagos de torca
4. Imagen GeoSpatial
5. GDB POT Bogotá
6. Área de estudio
7. Plantilla
8. Figuras

**Nota:** Todos los anexos se encuentran disponibles en el siguiente link:

Onedrive Universidad Manizales

[https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176\\_umanizales\\_edu\\_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu](https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176_umanizales_edu_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu)

Google Drive

<https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV?usp=sharing>

---

## Anexo D: Trabajo de campo

Fotos

KMZ

Puntos\_Barrios

**Nota:** Todos los anexos se encuentran disponibles en el siguiente link:

Onedrive Universidad Manizales

<https://umanizaleseduco->

[my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176\\_umanizales\\_edu\\_co/Documents/Trabaj](https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176_umanizales_edu_co/Documents/Trabaj)

[o%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu](https://umanizaleseduco-my.sharepoint.com/:f:/r/personal/ycaleno109176_umanizales_edu_co/Documents/Trabajo%20grado/Anexos?csf=1&web=1&e=xBOEVu)

Google Drive

[https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV\\_?usp=](https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV_?usp=sharing)

[sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1sfjf2h2gIegWJhqTN7Y3KgY6q0XMaGV_?usp=sharing)