



SECRETARÍA DE
AMBIENTE

**Modelo de ocupación de la Zarigüeya *Didelphis pernigra* en la Reserva Thomas
Van Der Hammen**
Red Interactiva de Monitoreo de Fauna en Bogotá

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Bogotá D.C.
2024

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas N° 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



Javier Eduardo Rojas Cala

Director de Planeación y Sistemas de Información Ambiental

Mariana Unda Venegas

Asesora Dirección de Planeación y Sistemas de Información Ambiental

EQUIPO TÉCNICO

Jennifer Zilenthsgjigh Carrillo-Villamizar

Ilba Carolina Figueroa Forero

Juan Manuel Rodríguez Rondón

Juliana Rodríguez Ortiz

Freddy John Grajales

German López

Rodrigo Gonzalez Florian

Líder Modelamiento Ambiental

Dirección de Planeación y Sistemas de Información Ambiental

Daniel Esteban Bermudez

Líder Estudios Ambientales

Dirección de Planeación y Sistemas de Información Ambiental

Secretaría Distrital de Ambiente

Av. Caracas N° 54-38

PBX: 3778899

www.ambientebogota.gov.co

Bogotá D.C. Colombia

Contenido

1. Introducción	4
2. Antecedentes	5
3. Metodología	5
3.1. Zona de estudio	5
3.2. Muestreo	6
3.3. Caracterización del hábitat	7
3.4. Procesamiento de datos	8
3.5. Ejecución de modelos de ocupación Zarigüeya	9
3.6. Integración de análisis con conectividad y fragmentación	9
4. Resultados	9
4.1. Análisis de abundancia relativa	10
4.2. Análisis de correlación	11
4.3. Modelos de ocupación Zarigüeya	11
4.4. Integración con índices de fragmentación y conectividad para la reserva	13
5. Conclusiones	17
6. Agradecimientos	19
7. Bibliografía	19

Lista de tablas

Tabla 1. Definición de las variables para el modelo de ocupación de la zarigüeya (<i>D. pernigra</i>)	7
Tabla 2. Abundancia relativa de las especies registradas en el área de estudio.	10
Tabla 3. Índice de abundancia relativa para las especies registradas en el área de estudio.	10
Tabla 4. Análisis de correlación de Spearman para las variables escogidas.	11
Tabla 5. Modelos de detección para chucha de tierras altas en la Reserva Thomas van der Hammen.	11
Tabla 6. Modelos de ocupación para chucha de tierras altas en la Reserva Thomas van der Hammen.	12

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de Ubicación zona de estudio	6
Figura 2. Transectos de muestreo al nivel de nanoescala.	7
Figura 3. Probabilidad de ocupación para la zarigüeya (<i>D. pernigra</i>) de acuerdo con los valores de NDVI, en la Reserva Thomas van der Hammen.	13
Figura 4. Ventana de análisis Reserva de humedal La Conejera-Hacienda las Mercedes escala 1:1000.	14
Figura 5. Cálculo de índice de proximidad en la RTVDH	15
Figura 6. Calculo Distancia al vecino más cercano RDH La Conejera-Hacienda Las Mercedes escala 1:1000	16
Figura 7. Índice de Conectividad distancia al vecino más cercano escala 1:5000.	17

1. Introducción

En junio 2023 inicia el proyecto de la Secretaría Distrital de Ambiente Red Interactiva de Monitoreo de Fauna en Bogotá (RIMFEB), un proyecto de ciencia ciudadana que analiza los registros de fauna que se encuentran en plataformas como iNaturalist, GBIF y registros de monitoreo de fauna provenientes de diferentes entidades ambientales. Adicionalmente, se genera información por medio de la instalación de cámaras trampa en diferentes sectores de la ciudad. Los datos recopilados se representan en dashboards interactivos para el acceso de la ciudadanía, permitiendo realizar análisis que han permitido el fortalecimiento de las áreas de monitoreo de la Secretaría de Ambiente de Bogotá en diferentes sectores de la ciudad.

Se realizó la articulación de trabajo con proyectos de la Secretaría Distrital de Ambiente como acuerdos de conservación y monitoreo a la biodiversidad, dado que conocían las áreas con mayor seguridad para la instalación de cámaras trampa en diferentes sectores de la ciudad, esta sinergia de trabajo se realizó con el fin de ampliar la información biológica y ecológica de los mamíferos y aves presentes en sectores diferentes a las áreas protegidas que tienen potencial de conservación y manejo ambiental en la ciudad.

A partir del análisis de información, se identificaron puntos de concentración de registros de especies, por lo que se decide hacer enfoque en un modelo de ocupación para obtener mayor conocimiento sobre la zarigüeya, como especie focal elegida en el programa de monitoreo a la biodiversidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, dado que se trata de una especie que reúne una serie de atributos como presencia crítica para mantener la organización y diversidad de la comunidad, además de ser una especie carismática y de interés ambiental que puede catalogarse como una especie sombrilla.

Las cámaras trampa son muy útiles en el estudio de la fauna silvestre ya que permiten conocer una amplia variedad de aspectos ecológicos sin la necesidad de interferir directamente en los hábitats de las especies registradas. Entre los estudios más comunes se incluyen el monitoreo de la biodiversidad, la estimación de densidades poblacionales y la identificación de patrones de actividad animal. Además, las cámaras trampa apoyan la construcción de modelos de ocupación de especies.

Los modelos de ocupación son una herramienta que se basa en modelos jerárquicos y permite estudiar diversos parámetros ecológicos de una especie, teniendo en cuenta un fenómeno en el cual una especie, que, aunque esté presente en un área de muestreo, no es detectada y esto puede llevar a conclusiones erróneas sobre su ausencia, este fenómeno ha sido llamado detección imperfecta. Dentro de estos modelos, se incluyen dos parámetros clave: ψ (psi), que representa la probabilidad de que la especie esté presente en un sitio determinado, y que está relacionado con la probabilidad de detectar la especie durante el proceso de observación (Andrade-Ponce et al., 2021).

En este estudio, se genera el primer modelo de ocupación de la zarigüeya (*Didelphis pernigra*), realizado en la reserva Thomas van der Hammen (RTVDH), donde se definen áreas de importancia ecológica y se realiza la estimación de la abundancia relativa. Adicionalmente, se identifican las variables a nivel de nanoescala y mesoescala con el fin de definir algunas acciones de conservación a nivel de hábitat y coberturas. Finalmente, se calculan índices de conectividad y fragmentación basados en la interpretación de coberturas de la tierra priorizada en la RTVDH.

2. Antecedentes

Los modelos de ocupación de mamíferos se han desarrollado en Suramérica en áreas rurales y boscosas. En Brasil en el bosque Atlántico (Tirelli F P. et al 2023), en Colombia en el Valle del Magdalena (Boron et al 2019) y en noroccidente de Cundinamarca en la sabana de Bogotá se relacionan al desarrollado por Jiménez-Ramírez F 2019, en un fragmento de la Reserva Forestal Protectora Productora Cuenca Alta del Río Bogotá en el municipio de Tenjo, en áreas con coberturas naturales y boscosas principalmente; este último estudio puede ser comparable en fauna detectada pero no en las variables consideradas.

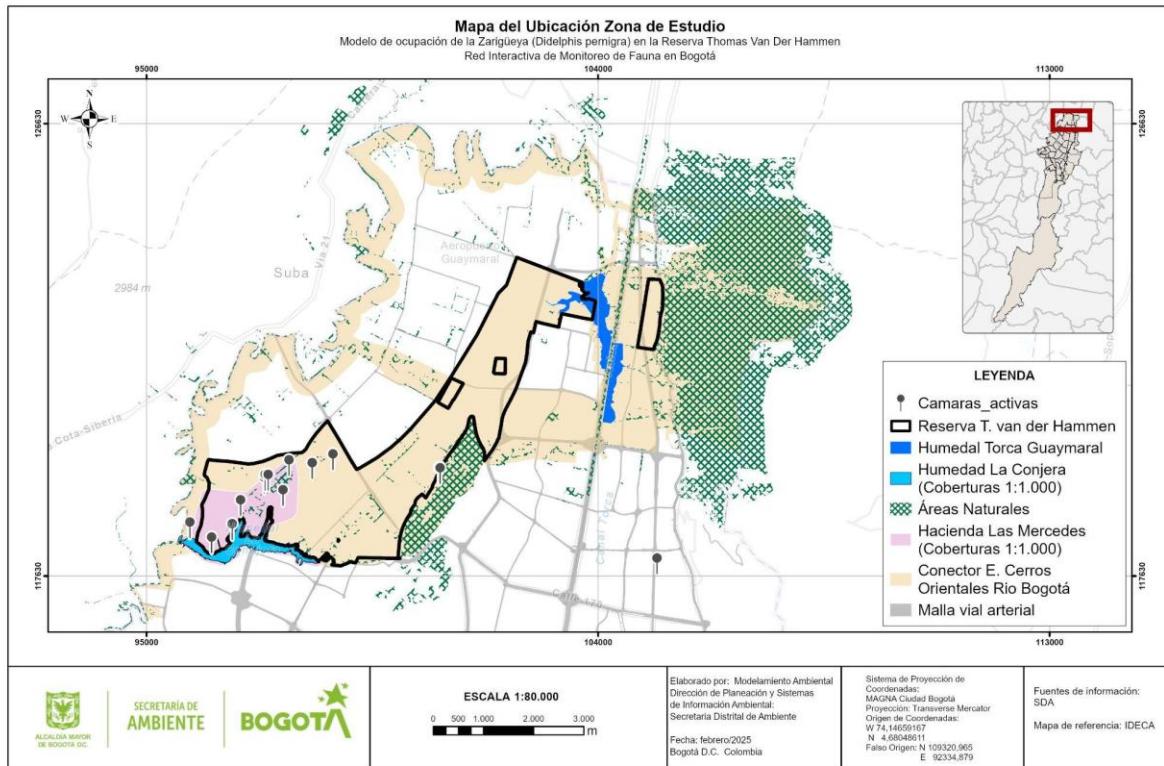
A nivel urbano se han desarrollado estudios en Santiago de Chile con un modelo de ocupación en aves (Arévalo et al 2022) y en Norte América en Wisconsin realizado en 2023 en inmediaciones de un barrio (Hursh et al 2023). En Colombia no se han realizado a nivel urbano, siendo este el primer análisis de ocupación dentro de una ciudad de una especie de mamífero silvestre como lo es la zarigüeya.

3. Metodología

3.1. Zona de estudio

Los muestreos se realizaron en la Reserva Forestal Productora Protectora Thomas van der Hammen (Figura 1), declarada como área de protección ambiental de la sabana de Bogotá en el año 2000 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual tiene un área total de 1395 hectáreas ubicada en el noroccidente de Bogotá, entre los 2550 y 2560 metros de altura sobre el nivel del mar. La reserva forestal integra las Reservas Distritales de humedal La Conejera, Torca y Guaymaral, los Santuarios de fauna y flora el Bosque de las Lechuzas y el Bosque de las Mercedes y el Parque ecológico Distrital de Montaña Cerro La Conejera, haciendo parte de la estructura ecológica principal de Bogotá al conectar los Cerros Orientales con el límite del río Bogotá.

Figura 1. Mapa de ubicación zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.2. Muestreo

Se instalaron 20 cámaras trampa Bushnell de 30 Mpx, en 15 sitios de muestreo distanciados entre sí al menos 500 m de acuerdo con lo propuesto por Cruz-Jácome y colaboradores (2015), a lo largo de la Reserva Thomas van der Hammen, lo anterior, con el fin de tener una independencia espacial de los datos. El muestreo comprendió los meses de diciembre de 2023 a marzo de 2024. La selección del sitio de muestreo en la RTVDH respondió a los análisis de información línea base que se encuentran en la base de datos de la Red Interactiva de Monitoreo de Fauna en Bogotá-RIMFEB sobre detecciones de cámaras trampa instaladas durante los meses de junio a diciembre de 2023, siendo los lugares donde existió mayor cantidad de registros de fauna en específico de la especie en mención.

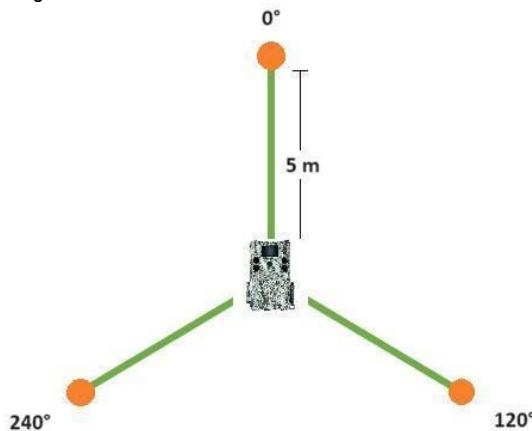
3.3. Caracterización del hábitat

Como parte de las variables a considerar, se tomaron al nivel de mesoescala: distancia de la cámara al cuerpo de agua más cercano (DA), distancia al centro urbano más cercano (DU), distancia al borde de la cobertura (DBC) y la distancia a la vía más cercana (DV) de todas las cámaras instaladas usando la cartografía disponible para el área de muestreo (Tabla 1). También, se estableció el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de imagen satelital disponible para la zona de la reserva Thomas van der Hammen.

Además, se midieron igualmente variables de nanoescala mediante la ubicación de tres transectos en cada punto de muestreo de cinco metros de longitud, dirigidos a 0°, 120° y 240 ° de azimut (Figura 2). Al final de cada punto

se tomaron registro de cobertura de escape (CE), cobertura de dosel (CD), altura del dosel (AD) y pendiente (P) (Tabla 1).

Figura 2. Transectos de muestreo al nivel de nanoescala.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Definición de las variables para el modelo de ocupación de la zarigüeya (*D. pernigra*)

Variable	Abreviatura	Especificaciones
Cobertura de escape	CE	Cobertura vegetal que permite a los individuos de una especie esconderse de depredadores y reducir el riesgo de ataques.
Cobertura de dosel	CD	Porcentaje de la superficie total de un área cubierta por las copas de los árboles.
Altura de dosel	AD	Altura a la que se encuentra la parte más alta de los árboles circundantes.
Pendiente	P	Inclinación de un terreno con respecto a la horizontal.
Dist. Agua	DA	Distancia a la fuente de agua más cercana.
Dist. Zona Urbana	DU	Distancia al tejido urbano continuo más cercano.
Dist. Borde Cobertura	DBC	Distancia al borde de la cobertura en la que se encuentra instalada la cámara trampa.
Dist. Vías	DV	Distancia a las vías principales más cercanas.
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	NDVI	Verdor y densidad de la vegetación captada en una imagen satelital.

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la verificación de normalidad para el comportamiento de las variables, se aplicó una prueba de correlación de Spearman con el fin de evaluar si existe multicolinealidad. Con el objetivo de evaluar la incidencia de variables con alto grado de independencia, se eliminaron aquellas que presentan una correlación mayor a 0,4 o menor a -0,4 como resultado de la prueba de Spearman.

Por otro lado, y dado que los datos medidos en las variables tanto de nanoescala como de mesoescala tienen unidades diferentes, se realizó una estandarización de las covariables para asegurar una escala uniforme con media cero (X-Xpromedio/SD).

3.4. Procesamiento de datos

Con los datos obtenidos de las tarjetas de memoria de 20 cámaras trampa se construyó una base de datos de los registros, organizada de acuerdo con las coordenadas de cada cámara, su código, el nombre común y científico de la especie de interés, en este caso la zarigüeya (*D. pernigra*), la fecha y hora, su sexo, cuando sea posible y otros datos asociados a la ecología de la especie como en la estructura social, el gremio trófico, distribución, si es invasora y la categoría de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN. Para garantizar la independencia de los datos, se tomó como registro las fotografías de individuos de la misma especie separadas por más de 24 horas (Cruz-Jácome et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente, las 20 cámaras trampa fueron instaladas en 15 sitios de muestreo, esto se debe a que algunas de ellas se encontraban instaladas muy cerca una de otra (<500 m), en este caso se calculó un promedio de los datos obtenidos para las covariables y se reunieron los registros de la zarigüeya en un solo valor garantizando su independencia temporal.

Inicialmente, se realizó un análisis de abundancia relativa de todas las especies observadas en las cámaras trampa en el periodo de muestreo (Anexo X1). Además, se estimó el índice de abundancia relativa que tiene en cuenta el número de registros obtenidos (C) y lo relaciona con el esfuerzo de muestreo (EM), multiplicado por un factor de conversión para su comparación entre sitios o coberturas, utilizando la fórmula que se menciona a continuación:

$$IAR = C/EM * 100 \text{ días-trampa}$$

Para el modelamiento se utilizaron los datos de 12 de los 15 sitios de muestreo evaluados, ya que 3 de las cámaras trampa instaladas presentaron fallas técnicas en el almacenamiento de los datos que no pudieron ser subsanadas a tiempo y por lo cual no se obtuvieron registros.

3.5. Ejecución de modelos de ocupación Zarigüeya

Los modelos de ocupación son una herramienta de análisis basada en modelos jerárquicos, que permiten estudiar parámetros ecológicos de una especie, teniendo en cuenta la probabilidad de detección, es decir, ayudan a incluir información sobre la detección imperfecta que está relacionada con el fenómeno en el que una especie que está presente en un sitio de muestreo no es detectada y en ocasiones se concluye su ausencia de forma errada. En estos modelos se incluyen el parámetro ψ (ψ) que representa la probabilidad de que en un sitio determinado se encuentre la especie que se está estudiando, y el parámetro p que está relacionado con el proceso de observación de la especie (Andrade-Ponce et al., 2021).

A partir de los registros obtenidos de presencia y ausencia de la zarigüeya y en función de las covariables de hábitat de los sitios de muestreo, utilizando el paquete "Unmarked" en el software R, se estimaron los parámetros de ocupación (ψ) y detección (p), y las posibles relaciones entre estos parámetros y las características de hábitat, definidas a través de las variables de meso y nanoescala.

Inicialmente se ejecutó un modelo nulo en el que no se incluyeron los valores de las variables, con el fin de conocer cuál era la probabilidad de ocupación sin el efecto de las variables. Posteriormente, se modeló la probabilidad de

detección (p) con las covariables escogidas luego del análisis de correlación, manteniendo la probabilidad de ocupación (Ψ) constante, seguido a esto, se modeló la probabilidad de ocupación (Ψ) junto con el mejor modelo de detección (p). Para la selección del mejor modelo tanto de detección como de ocupación se empleó el criterio de selección de Akaike (AIC) y un delta AIC de al menos dos unidades entre el primer y segundo modelo.

3.6. Integración de análisis con conectividad y fragmentación

Con base en el mapa de coberturas de la tierra a escala 1:5000 (SDA 2022) del conector ecosistémico Cerros Orientales - río Bogotá, en el cual se incluye la reserva Thomas van der Hammen, se hizo una reclasificación de coberturas naturales priorizadas para la especie de acuerdo con sus hábitos y con los resultados preliminares sobre ocupación de la especie (preferencia por altura del dosel), la reclasificación se hizo separando las coberturas que son de origen natural de las de origen antrópico, según la metodología Corine Land Cover. Se realizó un procesamiento en el aplicativo V-Late de ArcGIS, donde fueron calculadas métricas de ecología del paisaje (proximidad y vecino más cercano). Se realizó la misma metodología a escala 1:1000 para la ventana de análisis de la reserva de humedal La Conejera y La Hacienda Las Mercedes, con insumos de ortofotos tomadas durante el año 2023 y 2024 mediante un UAS Matrice 300.

4. Resultados

El esfuerzo de muestreo fue 675 cámaras/noche y se generaron 81 registros independientes de la zarigüeya (*D. pernigra*) siendo registrada en 9 de los 12 sitios de muestreo.

4.1. Análisis de abundancia relativa

El análisis de abundancia relativa de todas las especies observadas en las cámaras trampa en el periodo de muestreo evidencia que la mayor cantidad de registros se obtuvo para las especies de cuy (*Cavia aperea*) y zarigüeya (*D. pernigra*) como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Abundancia relativa de las especies registradas en el área de estudio.

	Rodentia	Can_fam	Cav_ape	Did_per	Equ_cab	Fel_cat	Neo_fre	Syn_gra
CT01CAS	1.24	0.62	0	5.28	0	8.70	0.31	0
CTHLC1	0	0.31	0	0	0	0.93	0	0
CTSAG1	3.73	0	40.68	9.63	0	0	0	0
CT04SAG	0	0.93	0	0.62	0	0	0	0
CT05SAG	0	0	0	1.86	0	0.31	0	0.31
CT06SAG	0.93	0	1.86	1.55	0	0	0	0
CT08SAG	1.55	1.55	4.04	0	0	0.62	0	0
CT02GUAz	2.48	0.31	0	0.93	0	0.31	0	0
CT03FLA	0	0.31	0	2.17	0	0.31	0	0
CT03SUN	3.11	0	0	0.62	0	0	0.31	0
CT04FLA-SUN	0	0	0	0	1.55	0	0	0
Total	13.04	4.04	46.58	22.67	1.55	11.18	0.62	0.31

Fuente: Can_fam: *Canis familiaris*, Cav_ape: *Cavia aperea*, Did_per: *Didelphis pernigra*, Equ_cab: *Equus caballus*, Fel_cat: *Felis catus*, Neo_fre: *Neogale frenata*, Syn_gra: *Syntheosciurus granatensis*.

Con respecto al análisis utilizando el índice de abundancia relativa se pudo observar que las especies más abundantes se mantienen, siendo la especie más abundante el curí o cuy (*C. aparea*) seguida de la zarigüeya (*D. pernigra*). Las siguientes especies son los roedores, que al ser difíciles de identificar al nivel de especie utilizando registros fotográficos, se ubicaron todos en el orden Rodentia, y los gatos domésticos (*Felis catus*) (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de abundancia relativa para las especies registradas en el área de estudio.

Especie	IAR
Rodentia	6.22
<i>Canis familiaris</i>	1.93
<i>Cavia aparea</i>	22.22
<i>Didelphis pernigra</i>	10.81
<i>Equus caballus</i>	0.74
<i>Felis catus</i>	5.33
<i>Neogale frenata</i>	0.30
<i>Syntheosciurus granatensis</i>	0.15

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis de correlación

Los resultados obtenidos del análisis de correlación y prueba de Spearman se presentan en la tabla 4, resaltando aquellos casos en los que se presenta un valor de correlación superior a 0,4 o inferior a -0,4, de conformidad con lo establecido y para la selección de variables con un mayor grado de independencia.

Tabla 4. Análisis de correlación de Spearman para las variables escogidas.

	CE	CD	AD	P	DA	DU	DBC	DV	NDVI
CE	1								
CD	0.10	1							
AD	-0.14	0.32	1						
P	0.04	0.54	0.54	1					
DA	0.07	0.03	-0.33	-0.16	1				
DU	-0.26	-0.48	-0.32	-0.18	0.45	1			
DBC	-0.29	0.49	0.18	-0.18	0.35	0.13	1		
DV	0.23	0.07	0.14	-0.08	-0.60	-0.25	-0.05	1	
NDVI	-0.01	0.85	0.08	0.33	-0.05	-0.61	0.32	-0.03	1

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el análisis de correlación de Spearman, se eliminaron de los análisis la cobertura de dosel y la distancia al agua por estar fuertemente correlacionadas con las demás variables. Se observa en la Tabla 4 que, para el caso de la cobertura de dosel se encuentra una alta correlación con las variables de pendiente, distancia al tejido urbano más cercano, distancia al borde de la cobertura en la que se encuentra instalada la cámara trampa, y verdor y densidad de la vegetación; así mismo, para la variable de distancia al agua se encuentra una alta correlación con las variables de distancia al tejido urbano más cercano, y distancia a vías principales.

4.3. Modelos de ocupación Zarigüeya

Con los registros de presencia y ausencia de la zarigüeya se estimaron los parámetros de ocupación (Ψ) y detección (p), sin incluir las covariables. Esto permitió obtener los resultados del modelo nulo, que predice que la especie está presente en aproximadamente el 75 % del área de estudio ($\Psi = 0.75$) y que se detectará en el 19 % de las oportunidades ($p = 0.199$). Posteriormente, se modelaron los parámetros de ocupación y detección incluyendo las covariables relacionadas con la caracterización de la zona de muestreo. Para ello se modeló la probabilidad de detección (p) manteniendo la probabilidad de ocupación (Ψ) constante, lo que permite identificar la variable que mejor se ajusta al modelo, dando como resultado a la altura del dosel como aquella que se relaciona mejor con la probabilidad de detección de la zarigüeya de tierras altas en la zona de estudio (Tabla 5).

Tabla 5. Modelos de detección para chucha de tierras altas en la Reserva Thomas van der Hammen.

	# pares	AIC	delta	AICwt	cumltWt
p(AD)psi(.)	3	407.34	0.00	0.98962	0.99
p(CE)psi(.)	3	417.95	10.60	0.00494	0.99
p(NDVI)psi(.)	3	418.32	10.98	0.00409	1.00
p(.)psi(.)	2	422.82	15.48	0.00043	1.00
p(P)psi(.)	3	422.84	15.49	0.00043	1.00
p(DBC)psi(.)	3	423.70	16.36	0.00028	1.00
p(DV)psi(.)	3	424.16	16.82	0.00022	1.00

Fuente: Par: Número de parámetros en cada modelo, AIC: Criterio de información de Akaike, Delta AIC: Cambio entre los modelos, AICwt: Peso de cada modelo, cumltWt: Acumulación de cada modelo. En verde se señalan los mejores modelos.

Posteriormente, se modeló la probabilidad de ocupación (Ψ) junto con el mejor modelo de detección (p), es así como para el caso de la probabilidad de ocupación la variable que mejor explica la presencia de la zarigüeya en el área de estudio es el NDVI, relacionado a su vez con la mejor variable para la detección que fue la altura del dosel (Tabla 6).

Tabla 6. Modelos de ocupación para chucha de tierras altas en la Reserva Thomas van der Hammen.

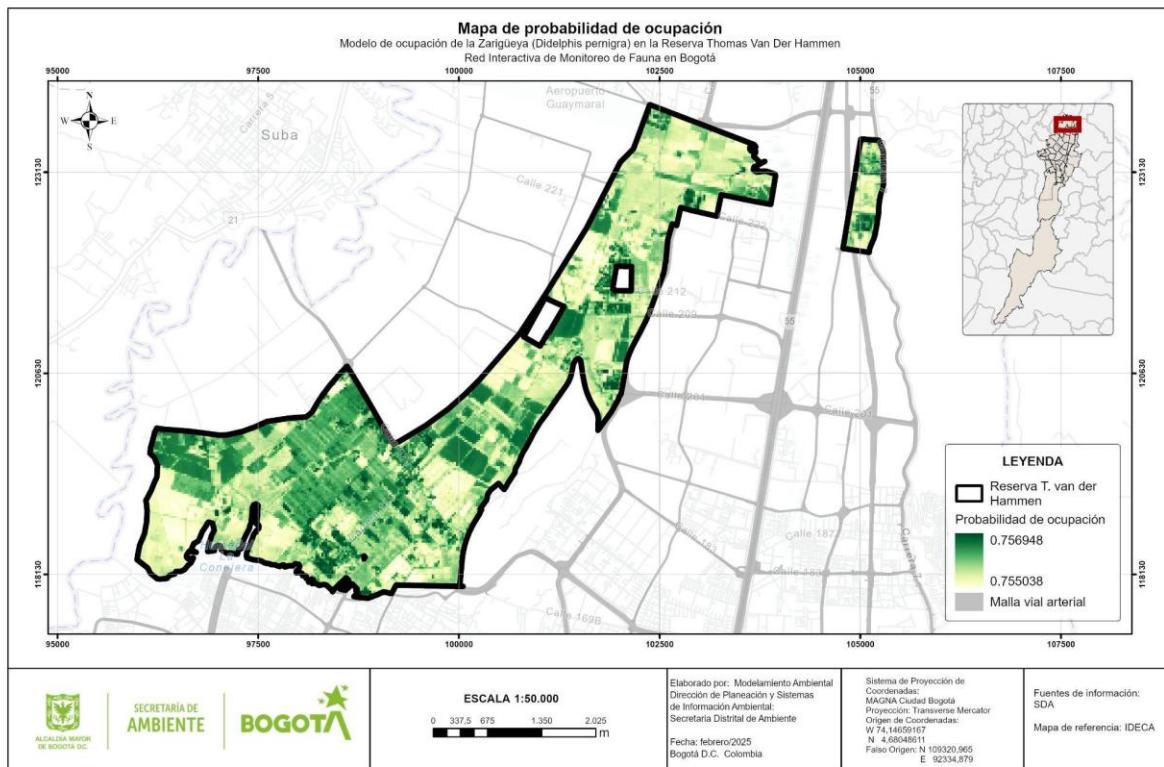
	# pares	AIC	delta	AICwt	cumltWt
p(AD)psi(NDVI)	4	409.34	0.00	1.0	1.0
p(.)psi(.)	2	422.82	13.48	1.2 e ⁻³	1.0
p(.)psi(P)	3	423.72	14.38	7.5 e ⁻⁴	1.0
p(.)psi(DV)	3	424.34	15.00	5.5 e ⁻⁴	1.0
p(.)psi(DBC)	3	424.62	15.28	4.8 e ⁻⁴	1.0
p(.)psi(AD)	3	424.78	15.43	4.4 e ⁻⁴	1.0
p(.)psi(CE)	3	424.79	15.44	4.4 e ⁻⁴	1.0
p(.)psi(CE+CD+P+DBC+DV)	6	429.18	19.84	4.9 e ⁻⁵	1.0

Fuente:

Par: Número de parámetros en cada modelo, AIC: Criterio de información de Akaike, Delta AIC: Cambio entre los modelos, AICwt: Peso de cada modelo, cumltWt: Acumulación de cada modelo. En verde se señalan los mejores modelos.

Con estos resultados se estima la probabilidad de ocupación para toda el área de la Reserva Thomas van der Hammen y se obtuvo la figura 3, que contiene la probabilidad de ocupación de la Zarigüeya con respecto a los valores de NDVI para la Reserva; variable que explica un 75 % de probabilidad de presencia de la especie en la zona y que se encuentra relacionada con las coberturas naturales.

Figura 3. Probabilidad de ocupación para la zarigüeya (*D. pernigra*) de acuerdo con los valores de NDVI, en la Reserva Thomas van der Hammen.



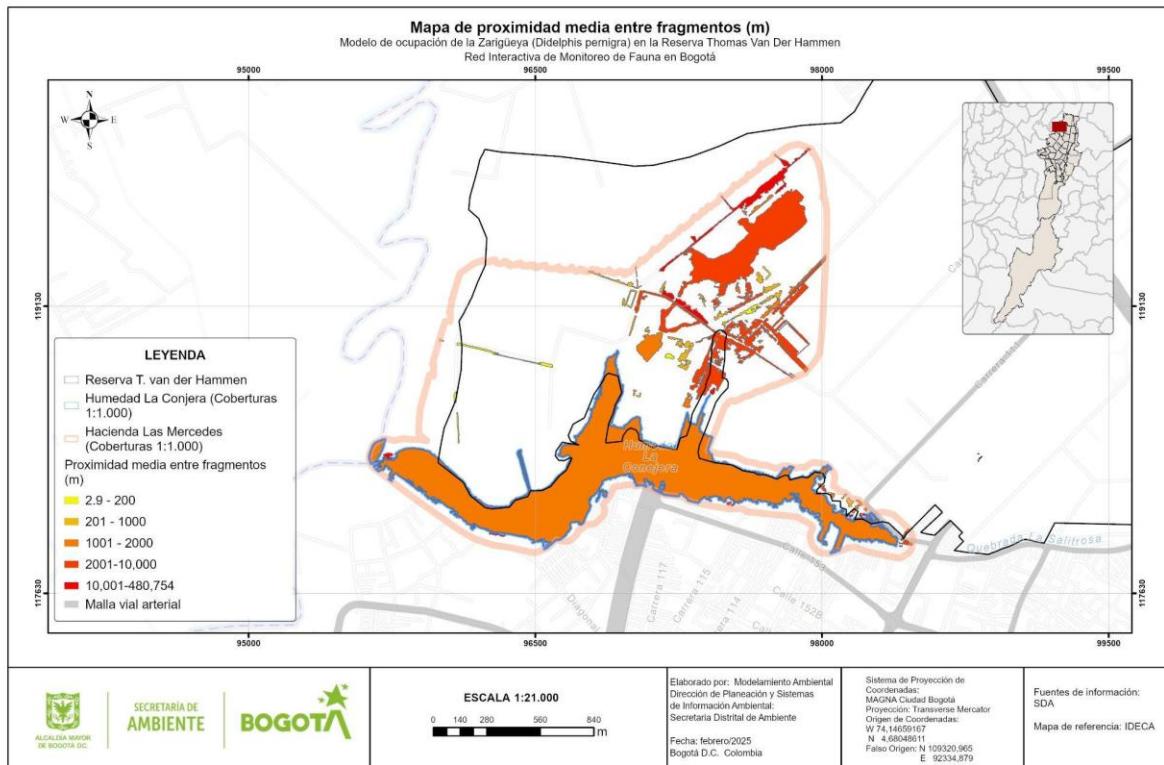
Fuente: SDA 2024. Elaboración propia

4.4. Integración con índices de fragmentación y conectividad para la reserva

Con el fin de integrar al modelo las coberturas relacionadas con las áreas de importancia ecológica relacionadas con la ocupación de la zarigüeya, se integró el cálculo de índices de conectividad y fragmentación basados en la interpretación de coberturas priorizadas para la especie. Las coberturas naturales priorizadas el RDH La Conejera y la hacienda Las Mercedes son para la especie son: arbustal abierto hidrófilo, arbustal denso hidrófilo, arbustal denso mesófilo de tierra firme, banco de arena, bosque denso bajo inundable, eucalipto, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso inundable no arbolado, juncales, lagunas, mezcla de árboles plantados, ríos, caños y quebradas, vegetación acuática flotante, vegetación secundaria alta y baja, zonas pantanosas.

El cálculo del índice de proximidad a escala 1:1000 para la ventana de análisis de la Reserva Distrital de Humedal La Conejera-Hacienda las Mercedes (Figura 4), indica que las zonas que se encuentran en tonos rojos son los más lejanos en promedio a los demás parches y en el caso del humedal se encuentra medianamente alejado de las coberturas de hacienda Las Mercedes.

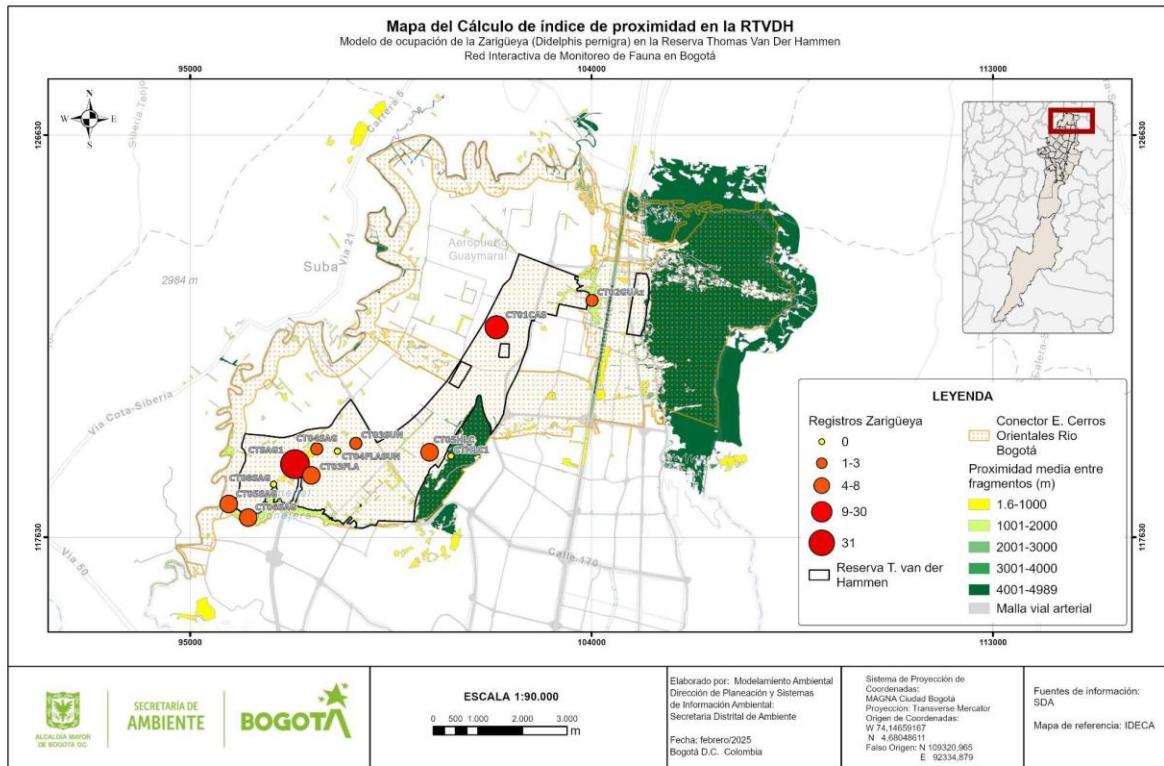
Figura 4. Ventana de análisis Reserva de humedal La Conejera-Hacienda las Mercedes escala 1:1000.



Fuente: SDA 2024. Grupo Modelamiento Ambiental

En cuanto a la totalidad de la reserva el índice de proximidad muestra que la fragmentación es más notoria entre humedal La Conejera y Cerro La Conejera, identificando además a los cerros orientales como el lugar más desconectado con respecto a las demás coberturas, tal y como se observa en el Figura 5.

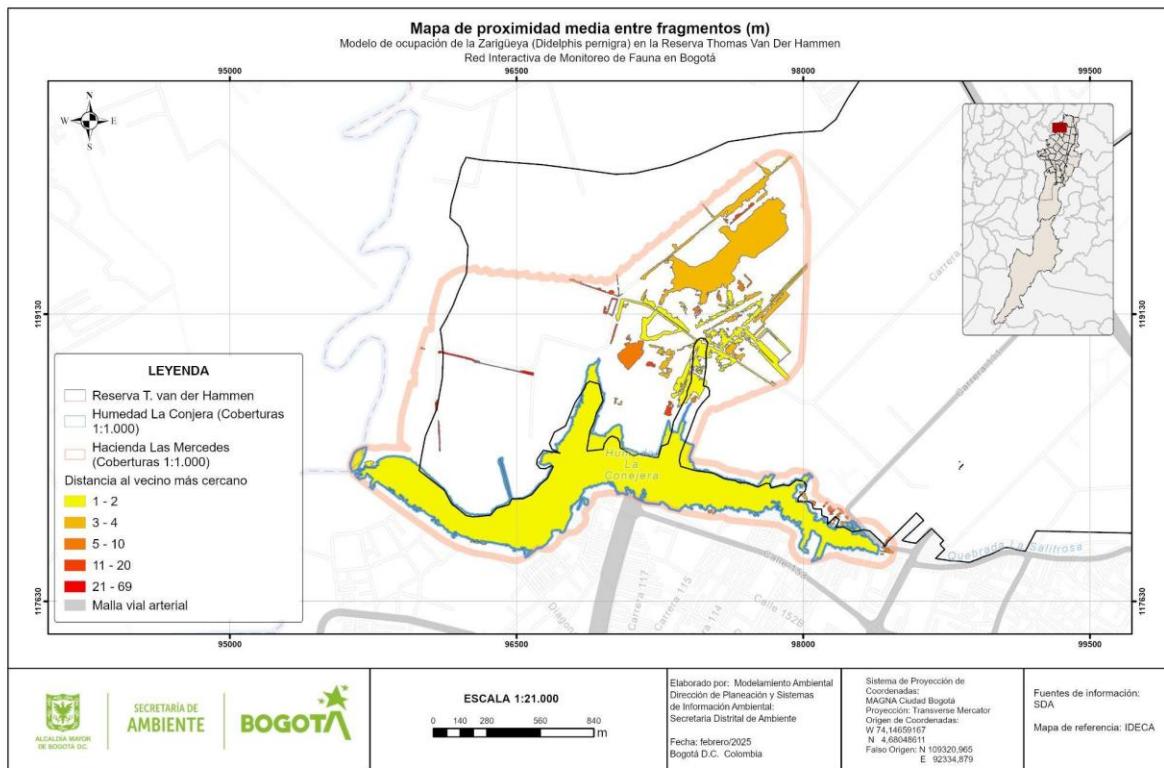
Figura 5. Cálculo de índice de proximidad en la RTVDH



Fuente: SDA 2024. Grupo Modelamiento Ambiental

El índice de conectividad para la ventana de análisis de la reserva de humedal La Conejera-Hacienda Las Mercedes (Figura 6), muestra que la distancia al vecino más cercano en áreas intermedias entre estas dos áreas necesita reforzarse dado que los parches muestran tonos amarillos y rojos.

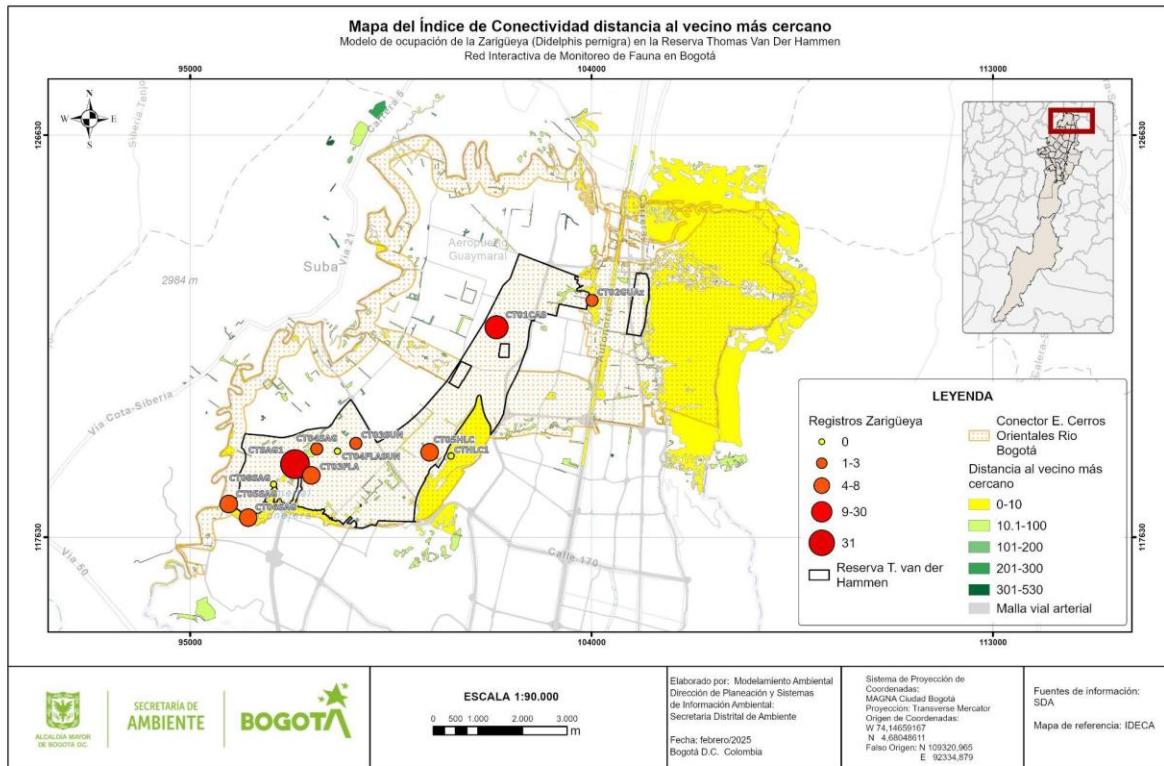
Figura 6. Calculo Distancia al vecino más cercano RDH La Conejera-Hacienda Las Mercedes escala 1:1000



Fuente: Fuente:SDA 2024. Grupo Modelamiento Ambiental

Para el caso de la totalidad de la reserva van der Hammen se muestra que el promedio de distancia al vecino más cercano es positivo para establecer corredores ambientales, tal y como se observa en la figura 7, lo cual favorece como oferta de hábitat a *Didelphis pernigra* y la comunidad de mamíferos relacionada.

Figura 7. Índice de Conectividad distancia al vecino más cercano escala 1:5000.



Fuente: SDA 2024. Elaboración propia

5. Conclusiones

Estudios recientes en el noroccidente de Cundinamarca en la sabana de Bogotá, como el desarrollado por Jiménez-Ramírez F (2019) en un fragmento de la Reserva Forestal Protectora Productora Cuenca Alta del Río Bogotá, ubicada entre los municipios de Tenjo, Tabio y Subachoque donde se construyó un modelo de ocupación para la zarigüeya, se encontró que la covariable más asociada con la probabilidad de detección (p) de la zarigüeya de tierras altas fue la cobertura de escape, la ocupación (ψ) se relaciona principalmente con la cobertura de dosel y la distancia al borde de la cobertura. En contraste en nuestro estudio, la detección y la ocupación se asocian con covariables como la altura del dosel y NDVI, respectivamente.

Adicionalmente, en la Reserva Thomas van der Hammen, la probabilidad de detección es homogénea, demostrando que, al ser una especie de hábitos generalistas, puede ocupar tanto áreas transformadas como áreas naturales, sin embargo, la frecuencia de observaciones para esta especie se relaciona más con las áreas naturales.

La reserva Van der Hammen posee un área natural correspondiente a un 4 % (análisis realizados a escala 1:5000) sin embargo la riqueza de especies de mamíferos y la abundancia de zarigüeya fue considerable, al encontrarse 81 registros independientes de zarigüeya (*D. pernigra*) en la Reserva Thomas van Der Hammen entre los meses de diciembre 2023 a marzo 2024, para un total de 45 días.

Los resultados del índice de abundancia relativa evidencian alta abundancia de dos especies de mamíferos curí (*C. aperea*) y la zarigüeya (*D. pernigra*), en específico el área de la reserva de humedal la conejera y la hacienda

Las Mercedes, donde se realizaron análisis de conectividad entre fragmentos evidenciando que la proximidad entre parches de coberturas naturales presentes favorece la presencia abundante de especies con hábitos diferentes y por ende la diversidad de especies.

Dentro las coberturas utilizadas por la zarigüeya andina algunas son además utilizadas por otras especies de mamíferos, como la comadreja (*Neogale frenata*) y los curíes (*C. aperea*), los dos últimos de preferencias alimenticias carnívora y herbívora, siendo la Reserva Thomas van Der Hammen propicia mantener un ecosistema saludable y funcional.

La variable NDVI es la que mejor explica la ocupación de la zarigüeya, sugiriendo que las coberturas con bosques en cercanía a humedales, además de las coberturas heterogéneas con cultivos cercanos benefician a esta especie y la comunidad de mamíferos relacionada. El mapa de predicción de la ocupación de la zarigüeya muestra que, al ser una especie de hábitos generalistas, puede ocupar áreas transformadas y resalta que la frecuencia de observación se relaciona más con las áreas naturales.

Pese a que un 95 % de la reserva tiene coberturas transformadas relacionadas con cultivos y pastizales, el índice de conectividad muestra que el promedio de distancia al vecino más cercano es positivo para establecer corredores ambientales que reduzcan la fragmentación de los ecosistemas y favorezcan a la comunidad de mamíferos.

Se recomienda continuar con el monitoreo y seguimiento continuo de *D. pernigra*, siendo necesario resaltar como especie carismática para continuar con las actividades de educación ambiental, talleres comunitarios y conservación.

Se recomienda continuar con la restauración de áreas con cobertura de bosque bajo inundable en las cuencas aledañas del bosque las Mercedes (en hacienda las Mercedes), Humedal La Conejera, Colegio Colombo Americano y Cerro La Conejera pues proveen de refugio y alimento a la comunidad de mamíferos relacionada con la especie.

Se recomienda fortalecer la restauración con el fin de mejorar la conectividad y movilidad entre poblaciones animales identificadas del conector Cerros Orientales-río Bogotá en áreas cercanas a polígonos más separados y fragmentados del Cerro Torca- humedal Torca Guaymaral-Cerros Orientales.

Es necesario proponer sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas, en áreas de cultivo de la Reserva Thomas van der Hammen siendo necesaria la capacitación relacionada.

6. Agradecimientos

A la administradora reserva de Humedal La Conejera Jenny Esteban y a la administradora de la reserva de Humedal Torca Guaymaral July Ramírez. A los profesionales del Proyecto Acuerdos de Conservación y Monitoreo a la Biodiversidad de la Secretaría Distrital de Ambiente y habitantes y predios adscritos al proyecto Acuerdos de Conservación como: Hacienda Las Mercedes - Sagaro, Colegio Colombo Americano, Flores de los Andes, Sunshine Bouquet, Hacienda La Conejera. A los compañeros de la Red Interactiva de Fauna y el Centro de Información y Modelamiento Ambiental de Bogotá.

7. Bibliografía

- Arévalo C., Amaya-Espinel J.D., Henríquez C., Ibarra J.T., Bonacic C. 2022. Urban noise and surrounding city morphology influence green space occupancy by native birds in a mediterranean -type South American metropolis. *Scientific reports* 12:4471
- Boron V., Deere N., Panteleimon X., Link A., Quiñones-Guerrero A. Payan E., Tzanopoulos J. 2019. Richness, diversity, and factors influencing occupancy of mammal communities across human-modified landscapes in Colombia. *Biological Conservation* . Vol 232 Pp108-116.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320718308085>
- Chandler, R., Miller, D., Fiske, I., Royle, A., Kery, M., Hostetler, J., & Royle, M. A. 2024. Package 'unmarked'. R Project for Statistical Computing.
- Cruz-Jácome O., López-Tello E., Delfín-Alfonso C. & Mandujano S. 2015. Riqueza y abundancia relativa de mamíferos medianos y grandes en una localidad en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. *Therya* 6:435–448.
- Español-Echániz I. 2006. Manual de ecología del paisaje. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid (España).
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p
- Jiménez-Ramírez J.S. 2019. Modelos de Ocupación y Distribución potencial de especies de mesodepredadores en el noroccidente de Cundinamarca, Colombia. Tesis Magíster en Ciencias-Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- Tirelli F.P., da Costa C., oliveira M., Ramos-Pereira M. 2023. Tales from Southern Brazil: Hierarchical Modeling of Occupancy, Abundance, and Density of Atlantic Forest and Pampa Mammals. En: *Neotropical Mammals Hierarchical Analysis of Occupancy and Abundance*. Pp 69-94. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-39566-6_4
- Hursh H., Bauder J., Difino M., Drake D. 2023. An urban cast of characters: Landscape use and cover influencing mammal occupancy in an American midwestern city. *Landscape and Urban Planning*. Vol 229.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204622002316>

ANEXOS

Anexo X1. Especies registradas durante el periodo de muestreo para la Reserva Thomas van der Hammen.

Especie	Nombre común	Grupo ecológico	Estructura social	Gremio trófico	Distribución	UICN
<i>Canis familiaris</i>	Perro doméstico	HT	G	CA	COS	LC
<i>Cavia aperea</i>	Cui común, cuyo	HT	G	HE	CEN	LC
<i>Didelphis pernigra</i>	Chucha orejiblanca, zarigüeya	AR	S	OM	COS	LC
<i>Equus caballus</i>	Caballo					
<i>Felis catus</i>	Gato doméstico	HT	S	CA	COS	LC
<i>Neogale frenata</i>	Comadreja cola larga	HT	S	CA	CEN	LC
<i>Syntheosciurus granatensis</i>	Ardilla colorada	HT	S	FR	COS	LC

HT: Herbáceas terrestres, AR: Arborícola, G: Gregario, S: Social, CA: Carnívoro, HE: Herbívoro, OM: Omnívoro, FR: Frugívoro, COS: Cosmopolita, CEN: Casi endémica, LC: Preocupación Menor. Fuente: Elaboración propia