

**Universidad Nacional
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Escuela de Ciencias Biológicas**

**Informe Final
(PASANTÍA)**

***EVALUACIÓN DE MELOZONE LEUCOTIS COMO BIOINDICADOR ASOCIADO A
VARIABLES AMBIENTALES EN EL CORREDOR BIOLÓGICO INTERURBANO
MARÍA AGUILAR, COSTA RICA***

Empresa en la que realizó la pasantía

**Organización para Estudios Tropicales (OET) socio ejecutor del proyecto Transición
hacia una Economía Verde Urbana (TEVU) y con el Programa de Naciones Unidas para
el Desarrollo (PNUD)**

**Estudiante: Jamie Martínez Urbina
(11679695)**

Tutor: Pablo Muñoz Cambroneró

Asesor: Jossy Calvo Villalobos

**Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica**

Abril 2026

Este trabajo de graduación fue Aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biología Tropical.

CLAUDIA EUGENIA FERNANDEZ ZAMORA (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-1148-0693.
Fecha declarada: 14/05/2026 02:05:29 PM
Lugar: Puntarenas

Dra. Claudia Fernández Zamora
Representante, Decano, quién preside

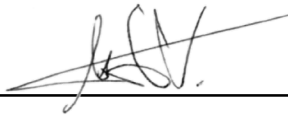
ALEJANDRO ALBERTO DURAN APUY (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-02-0518-0501.
Fecha declarada: 14/05/2026 01:19:06 p. m.
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

M.Sc. Alejandro Durán Apuy
Representante de la Dirección de la (ECB)

PABLO
ELIAS
MUÑOZ
CAMBRO
NERO
(FIRMA)

Firmado
digitalmente
por PABLO
ELIAS MUÑOZ
CAMBRONERO
(FIRMA)
Fecha:
2026.05.14
13:17:27 -06'00'

M.Sc. Pablo Muñoz Cambronero
Tutora



M.c. Jossy Calvo Villalobos
Supervisor

Agradecimientos

A Dios, a mi familia, a mis amigos y a la familia Jiménez-Montero por el apoyo incondicional en toda la carrera. También al profesor Pablo Muñoz Cambronerero por su compromiso y dedicación en todo el proceso de este estudio como tutor, asimismo a Jossy Calvo Villalobos por ser mi asesor y apoyarme en este estudio, Por otro lado, agradezco la colaboración financiera de TEVU-OET, y también al Fondo para el Fortalecimiento de Capacidades Estudiantiles – Extensión (FOCAES) Acuerdo 195-2023 de la Universidad Nacional de Costa Rica. Asimismo, agradezco al Laboratorio de Biología Tropical de la Universidad Nacional por el equipo y material brindado Acuerdo 006-2024 y a IDEAWILD por el equipo solicitado y brindado para mi investigación, Beca MARTCOST0124-00.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar este importante logro.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por ser el pilar fundamental que me ha permitido llegar hasta aquí. A mi hermana, por su apoyo constante y compañía en cada etapa de este camino.

A mi pareja, por su comprensión, motivación y por estar a mi lado en los momentos más desafiantes, brindándome ánimo para no rendirme.

A la familia Montero-Jiménez, por su cariño, respaldo y por abrirme sus puertas como parte de su familia.

A mis amigos, quienes con sus palabras de aliento y apoyo hicieron este proceso más llevadero.

A mi tutor y asesor, por su guía, paciencia y valiosos conocimientos que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Y, de manera muy especial, me dedico este logro a mí misma, por la perseverancia, el esfuerzo y la determinación para superar cada obstáculo y no rendirme en el camino.

INDICE GENERAL

Agradecimientos	II
Dedicatoria.	III
Introducción	1
Ubicación geográfica (TEVU).....	2
Área de estudio.....	2
Visión	3
Misión	4
Justificación de la pasantía	4
Objetivos de la pasantía	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos	10
Actividades realizadas o metodología de trabajo	10
Funciones de la pasante en (TEVU)	10
Método de selección de los sitios de muestreo en áreas (urbanas y periurbanas)	11
Muestreo de <i>Melozone leucotis</i>	11
Variables ambientales	13
Análisis para la ocurrencia de <i>Melozone leucotis</i>	13
Análisis de la ocurrencia de <i>Melozone leucotis</i> y variables ambientales	13
Resultados obtenidos de la pasantía	14
Análisis de la ocurrencia de <i>Melozone leucotis</i>	14
Estructura de <i>Melozone leucotis</i> en ambos esquemas (Urbano y Periurbano)	15
Relación entre la ocurrencia de <i>Melozone leucotis</i> con las variables ambientales	16
Discusión de resultados	21
Relevancia de la pasantía en su perfil profesional y conocimientos adquiridos de la experiencia.....	26
Conclusiones y recomendaciones	27
Referencias bibliográficas	30

INDICE DE FIGURAS

(Figura 1). Mapa basado en el anillo de contención PRUGAM, 2015 CBIMA, Costa Rica.	11
(Figura 2). Dimensiones de un punto de conteo fijo de dos bandas.	12
(Figura 3). Representatividad de número de individuos encontradas en los diferentes sitios de muestreo en ambos esquemas (Urbano y Periurbano) en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar de Costa Rica.	15
(Figura 4). Representatividad del escalamiento multidimensional no métrico NMDS de ambos esquemas (Urbano y Periurbano) en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Costa Rica.	16
(Figura 5.) Gráfico de componentes principales (PCA) con la variable de intensidad lumínica.	18
(Figura 6). Gráfico de análisis de componentes principales (PCA) sin la variable de intensidad lumínica.	19
(Figura 7.) Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la humedad.	20
(Figura 8). Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la intensidad lumínica.	21
(Figura 9). Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la cobertura vegetal.	21

Introducción

La Organización para Estudios Tropicales (OET) es un consorcio de aproximadamente cincuenta instituciones, de educación superior e investigación de cinco países distribuidos en tres continentes. La misión de la OET es proveer liderazgo en educación, investigación y el uso responsable de los recursos naturales en los tropicales. Gran parte de esta misión se lleva a cabo a través de cursos centrados en la investigación básica y aplicada a través de experiencia práctica y la exposición a diversos ecosistemas. Los públicos meta son variados, desde responsables políticos en la toma de decisiones ambientales, profesionales de diferentes disciplinas relacionadas con el medio ambiente, así como programas educativos en materia ambiental para profesores y colegios (Babbar, 2017).

Dada la misión de la OET como socio ejecutor del proyecto Transición hacia una Economía Verde Urbana (TEVU), con el Programa de Naciones Unidas de Desarrollo (PNUD) como garante ante el donante Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF siglas en inglés) y cuya contraparte institucional es el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). El propósito de este proyecto es alcanzar la descarbonización en la Gran Área Metropolitana (GAM) a través de una reforma fiscal y política que promueva una planificación urbana sostenible e integrada, mediante del desarrollo de cinco componentes fundamentales (Miranda et al., 2022).

Los componentes clave del proyecto incluyen: (1) Una reforma política fundamentada en datos para fomentar una economía verde y una planificación urbana integrada. (2) Inversiones integradas y sostenible que se centran en reducir las emisiones de carbono, promover la resiliencia, conservar y restaurar la tierra. (3) Implementación de estrategias de financiamiento innovadoras y expansión de recursos. (4) Fomento del intercambio de conocimientos, desarrollo de capacidades y establecimiento de asociaciones estratégicas. (5) Establecimiento de un sistema de monitoreo y evaluación para medir el progreso y los impactos del proyecto. Estos componentes se deben realizar en escala nacional (componentes 1 y 3), a nivel regional y local (componentes 2,3 y 4) en los 20 municipios de la (GAM) para lograr alcanzar metas e indicadores establecidos para cada uno de esos componentes (Miranda et al., 2022).

Ubicación geográfica (TEVU)

El área geográfica de trabajo del proyecto (TEVU) corresponde al 2% del territorio nacional, abarcando un total de 1168.73 km^2 el cual comprende 127 distritos y 20 cantones de la (GAM) donde se distribuye en las provincias de San José, Heredia, Cartago y Alajuela. Asimismo, el uso y cobertura de las tierras de esta área geográfica es de un total de 45.61%, de bosque primario con 7%, secundario con 15% y otras áreas con cobertura arbórea (son espacios con presencia de árboles fuera de los bosques naturales o plantaciones forestales, pero que aportan valor ecológico y paisajístico; ejemplos: áreas verdes institucionales o recreativas, jardines, lotes baldíos, parques, etc.) con 23.61%; un 30.97% está urbanizado y un 24.42% hay actividades agropecuarias y cuerpos de agua. Además, se encuentra gestionada por el Área de Conservación Central (ACC) donde se distribuye en cuatro subregiones: San José, Heredia, Alajuela, y Cartago (Miranda et al., 2022).

Área de estudio

El Gran Área Metropolitana (GAM) constituye el 3.84% del territorio costarricense, y alberga el 54.70 % de la población total del país (Baldares, T.M., 2012). La GAM se caracteriza por presentar una matriz urbana compleja, donde el territorio está conformado principalmente por áreas construidas e infraestructura, dentro de las cuales se insertan distintos fragmentos de bosque, áreas verdes y zonas agrícolas. Esta matriz refleja la interacción de factores sociales y económicos, incluyendo la distribución de la población, la movilidad, la actividad comercial e industrial, así como los servicios y espacios comunitarios, los cuales moldean la estructura del paisaje y determinan la funcionalidad ecológica y social del área (Rosales-Maroto, 2012; Martínez-Baldares, 2012). Dentro de la GAM se ubica el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) donde se encuentra la microcuenca del río María Aguilar que comprende 38.53 km^2 y representa el 0.09% del territorio nacional. En este corredor se encuentra 5 cantones que son: Alajuelita, Curridabat, La Unión, San José y Montes de Oca los cuales representan entornos tanto urbanos como periurbanos (MINAE-GEF-PNUD, 2019).

La microcuenca del río María Aguilar abarca 104.23 km de lineales y desemboca en la cuenca del río Grande de Tárcoles, una de las más contaminadas del territorio nacional y

Centroamérica (Gastezzi-Arias et al., 2017; Boletín Informativo del Observatorio Municipal, Municipalidad de San José, 2017). La topografía de la microcuenca del río María Aguilar es altamente variada debido a su geomorfología y composición del suelo. Cuando se cambia el uso de la tierra para propósitos urbanos, el suelo se compacta, pierde su capacidad de cultivo, reduce su productividad y se elimina la capa vegetal, lo que genera un impacto ambiental significativo (González, 2003; Laporte y Porras, 2002). Sin embargo, los márgenes de los ríos en Costa Rica cuentan con protección legal establecida por la Ley Forestal N.º 7575, la cual promueve la conservación de franjas de vegetación ribereña (Asamblea Legislativa, 1996). Desde el punto de vista ecológico, esta vegetación constituye una zona de transición o ecotono, donde coexisten especies propias del bosque y de ambientes más abiertos. De esta forma, los ríos actúan como corredores biológicos —y en entornos urbanos, como corredores interurbanos— que facilitan la conectividad ecológica entre fragmentos de vegetación y el desplazamiento de fauna (Gastezzi-Arias et al., 2017).

El CBIMA se divide en dos áreas distintas. Por un lado, está el sector Este, también conocido como periurbano, que abarca Montes de Oca y Curridabat, además de La Unión. En esta zona se concentra la mayor cantidad de áreas naturales y bosques con un total de 20.67%, y las zonas urbanas de este sector es de 25.2%. Por el contrario, está el sector Oeste también conocido como urbano abarca los cantones de San José, Alajuelita, y la parte restante de Curridabat y Montes de Oca. En esta zona lo que domina es el uso urbano con un 40.34%, mientras que las áreas naturales y bosques es de un 3.27% (MINAE-GEF-PNUD, 2019). Menos del 12 % del territorio del CBIMA se compone de ecosistemas naturales con un alto grado de fragmentación y que requieren un restablecimiento de sus servicios ecológicos, mientras que las áreas verdes y de recreación en el CBIMA apenas representan el 3%. Estas áreas verdes están principalmente concentradas en los parques, que en su mayoría son pequeños alrededor de 2 a 5 ha, algunos de ellos con superficies pavimentadas y pocos árboles.

Visión

Deseamos brindar a los habitantes de Costa Rica una transformación beneficiosa con el fin de mejorar diversos aspectos de la vida en las ciudades, tales como la salud, el entretenimiento, la seguridad y el acceso equitativo al derecho fundamental de disfrutar de un

entorno saludable

Misión

Como equipo de individuos comprometidos, nuestra misión es esforzarnos al máximo para lograr el objetivo de mejorar las ciudades de manera que beneficien a todas las personas, manteniendo un equilibrio con el entorno.

Justificación de la pasantía

Es ampliamente conocido que la alteración de los hábitats ocasionado por las acciones humanas genera fragmentos separados y dispersos, lo que resulta en una transformación acelerada del paisaje y tiene un impacto negativo en la disminución de la diversidad biológica (Acosta, 2013; Salina y Pérez, 2011; Hansen et al., 2013 y Taubert et al., 2018). Un ejemplo de amenaza es la urbanización que frecuentemente reduce la diversidad de vegetación en una zona, eliminando la estructura en capas (estrato arbóreo, arbustivo, herbáceo, y subterráneo) ocasionando una disminución en la cantidad de poblaciones de especies como aves, anfibios, mamíferos (Kluza, et al., 1999; González, 2009). Es decir, la capacidad de adaptación de las especies va a depender de las condiciones del fragmento (Betts et al., 2014; Pardini et al., 2017).

Existen proyecciones que indican que, como resultado del cambio climático y la transformación en el uso de la tierra, es probable que numerosas especies de aves, especialmente aquellas endémicas y especializadas, enfrenten la posibilidad de extinguirse en las próximas décadas debido a la disminución de su entorno natural (Sekercioglu et al., 2004, Thomas et al., 2004). Por lo tanto, las aves se pueden emplear para evaluar cómo los cambios en la calidad de su entorno, originados por alteraciones en las pautas de temperatura y precipitación, pueden ser monitoreados para comprender el impacto del cambio climático global en ecosistemas, ya sea en ambientes naturales o aquellos influenciados por la actividad humana (Bock y Zach, 2004). Para comprender de manera más efectiva el impacto del cambio global en una especie de ave, es fundamental tener en cuenta análisis detallados a una escala de resolución más precisa (Peterson et al., 2010).

Ante esta situación, una estrategia clave para contrarrestar la alteración de los hábitats y la disminución de la diversidad ha sido la incorporación de diversos Corredores Biológicos Interurbanos (CBI) en todo el territorio nacional (Feoli, 2013). El objetivo de los CBI es promover la conexión entre áreas con vegetación y asegurar la conservación de la biodiversidad en entornos urbanos y periurbanos (Arauz y Arias, 2016; Trujillo et al., 2017). Para lograr el objetivo incluyen elementos paisajísticos en la conservación y conectividad ecológica, algo que no sucede con los Corredores Biológicos establecidos en áreas naturales. Por ejemplo, la presencia de trama verde dentro de la ciudad —es decir, el conjunto de espacios verdes interconectados como parques, jardines, riberas de ríos, árboles urbanos y huertos comunitarios— contribuye de manera significativa a la biodiversidad y a la calidad ambiental de los ecosistemas urbanos (Abril, 2023; Cambronero et al., 2019).

Además, estos espacios proporcionan diversos servicios ecosistémicos a la población, tales como la mejora de la calidad del clima, recreación y bienestar, control de inundaciones, valor paisajístico, conexión cultural, retención de carbono, polinización y controladores biológicos (Herrando et al., 2012; Luck, 2012; López, 2015)

El sitio de estudio donde se desarrolló está pasantía es el CBIMA que se caracteriza por tener ecosistemas fragmentados y haber sufrido impactos ambientales negativos por el crecimiento urbanístico constante en los últimos 30 años (MINAE-GEF-PNUD, 2019). Además, es importante destacar la falta de conectividad de la trama verde en el CBIMA. Esta situación contribuye al aislamiento de poblaciones de aves, limita la migración y dificulta la dispersión y el intercambio de genes (McQueen, 2020; MINAE-GEF-PNUD, 2019).

Dentro del CBIMA, las perturbaciones humanas y la falta de conectividad de la trama verde afectan a distintos grupos de aves. Las acuáticas como garzas, martinets y patos pierden sitios de alimentación y nidificación por la degradación de riberas; las forestales como tangeras, carpinteros y tucanes sufren por la fragmentación del bosque que limita su dispersión; y las migratorias como golondrinas y colibríes ven restringidas sus rutas y zonas de descanso (McQueen, 2020; MINAE-GEF-PNUD, 2019).

Asimismo, las insectívoras como mosqueros y reinitas reducen su alimentación debido a la pérdida de vegetación, y las generalistas o adaptables, incluyendo *Melospiza leucotis*, también se ven afectadas, ya que la fragmentación limita su movilidad y el flujo genético entre poblaciones, comprometiendo su reproducción y diversidad genética (Sánchez, 2020; Cruz, 2023; Rodríguez-Bardía et al., 2022).

Por tanto, la disminución de la cobertura boscosa e intercambio de la vegetación nativa por exótica impacta directamente a las comunidades de aves, antes descrita, porque pierden sus sitios de forrajeo y refugio (Peris y Montelongo, 2014; Chávez-Almonacid, 2014; González et al., 2012). Por lo anterior es que se suelen seleccionar especies que funcionan como bioindicadores, es decir, organismos con características que responden a las condiciones ambientales y pueden indicar la presencia de factores o cambios en el entorno. El grupo de aves insectívoras y granívoras es especialmente susceptible a alteraciones del ambiente, como la pérdida y fragmentación de hábitats, la disminución de insectos y semillas disponibles, la contaminación, la urbanización y las perturbaciones humanas, lo que puede afectar su alimentación, reproducción y dispersión (Cárdenas et al., 2003). Por lo cual son especies que sirven como indicadores biológicos ideales para esta pasantía (Jiménez et al., 2018; Berlanga et al., 2010). Se escogió a *M. leucotis* ya que además de ser parte del grupo mencionado es residente todo el año de las áreas que se evaluaron. A diferencia de las especies migratorias, que solo se encuentran temporalmente y reflejan condiciones del hábitat de manera parcial, y de otras aves residentes como martinetes, garzas y chachalacas, que se desplazan por amplias áreas y cuerpos de agua, *M. leucotis* permanece en fragmentos específicos de bosque urbano y periurbano todo el año. Por ello, esta especie potencialmente puede ofrecer información más detallada y ajustada sobre la calidad, conectividad y estado de los sitios evaluados en la pasantía, convirtiéndola en un bioindicador especialmente útil para estudios de fragmentación y conservación local (Sandoval et al., 2012; Rodríguez-Bardía, 2022; Cueva, 2023).

A nivel internacional, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) clasifica a *M. leucotis* bajo la categoría de “Preocupación menor – Least Concern (LC)”, (UICN, 2020). En Costa Rica, la especie se encuentra incluida en el listado oficial de aves en peligro de extinción, amenazadas o con poblaciones reducidas de la Comisión Nacional para la

Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO), según la Resolución 092-MINAE (Alcance Digital N° 239 a La Gaceta N° 187 de fecha 03-10-2017) (CONAGEBIO, 2017). Esta combinación de categorías indica que, aunque globalmente la especie no enfrenta un riesgo crítico, a nivel local su reconocimiento como especie con poblaciones reducidas resalta la importancia de monitorear sus poblaciones y proteger sus hábitats, especialmente en áreas urbanas y fragmentadas.

Las aves que logran sobrevivir en estos entornos urbanos suelen ocupar hábitats en condiciones no ideales, aprovechando y fragmentos remanentes de vegetación y zonas verdes que aún ofrecen los recursos mínimos necesarios para su alimentación, refugio y reproducción (Melles et al., 2003; Aronson et al., 2017 Sadoti, 2012). Según el estudio de Fallas (2018) la riqueza de aves encontradas en diversos parques urbanos de la GAM es relativamente baja, entre ellas se encontró *M. leucotis*, donde sugiere que aún existen remanentes de hábitats con mejor conectividad funcional entre pequeños parches de vegetación asociados al Río María Aguilar. Por otro lado, De la Hera et al. (2009), señalan que, en los espacios urbanos, la cantidad y diversidad de aves aumentan cuando hay más área verde y mayor cobertura de árboles, ya que esto ayuda a reducir los efectos de la fragmentación del hábitat.

De acuerdo con lo anterior, las transformaciones asociadas al crecimiento urbano imponen dinámicas internas particulares en las ciudades, afectando directamente la disponibilidad y calidad de los hábitats. Para abordar esta situación, los sistemas de información geográfica (SIG) permiten generar planos dinámicos que representen la distribución y el estado de las especies en distintos territorios (Mena et al., 2011). Por ejemplo, las poblaciones de *M. cabanisi* y *M. leucotis* están en declive debido a la pérdida de hábitats, especialmente espacios de vegetación abierta como charrales, tacotales y cafetales. La información sobre la cobertura vegetal obtenida mediante estas herramientas geográficas permite indicar la presencia y ocurrencia de ambas especies en diferentes áreas del país, facilitando estudios de conservación y planificación ambiental (Rodríguez-Sáenz et al., 2022)

La predicción de la distribución de especies mediante modelos tradicionales de correlación distribución-clima se basa en la relación entre la presencia conocida de la especie y variables climáticas, como temperatura y precipitación. Sin embargo, este enfoque asume que

la relación abiótica se mantiene constante en el tiempo y el espacio, lo que puede no cumplirse bajo escenarios de cambio ambiental o en distintas regiones (Feoli et al., 2013; Woodin et al., 2013). Por ello, es fundamental complementar estos modelos con análisis a escalas más detalladas y enfoque nacional, incorporando variables de hábitat y cobertura vegetal (Shen et al., 2025).

En el caso del CBIMA, esta aproximación permite generar información más precisa sobre *M. leucotis*, considerando no solo los factores climáticos, sino también la fragmentación de hábitat y la conectividad de la trama verde. Esta especie puede funcionar como bioindicador, proporcionando datos útiles para evaluar la calidad ecológica del corredor y la funcionalidad de sus espacios verdes, así como para identificar áreas donde la conectividad y la estructura del hábitat favorecen o limitan la presencia de aves forestales y generalistas (Rodríguez-Sáenz et al., 2022; Mena et al., 2011). De esta manera, su estudio constituye una herramienta para el monitoreo y la gestión de corredores biológicos interurbanos, permitiendo tomar decisiones basadas en información sobre la integridad del ecosistema y la distribución de la fauna.

Actualmente, existen hábitats que reciben poca o nula atención en términos de conservación, como los matorrales y tacotales, los cuales están formados por vegetación de sucesión temprana y pueden cambiar rápidamente en ausencia de manejo. La falta de reconocimiento de la importancia biológica de estos ecosistemas afecta directamente a las aves que los utilizan, disminuyendo su abundancia y diversidad (Sánchez et al., 2009). Entre estas especies, *M. leucotis*, estrechamente relacionada con *M. cabanisi*, utiliza hábitats similares, incluyendo matorrales nativos, claros forestales y zonas cercanas a riberas de ríos, lo que resalta su potencial como indicador de la integridad de estos ecosistemas (Sandoval et al., 2014). Esta situación se ve agravada porque la mayoría de estos hábitats no cuenta con protección legal y se localiza fuera de áreas protegidas, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a la fragmentación, la urbanización y el cambio en el uso del suelo (Sandoval et al., 2019). Comprender la ocupación de *M. leucotis* en estos ambientes puede aportar información relevante sobre la condición ecológica de matorrales y tacotales, facilitando la evaluación de corredores biológicos interurbanos y la planificación de estrategias de monitoreo.

Es decir, *M. leucotis* es potencialmente un bioindicador de hábitats saludables en el CBIMA debido a varias características ecológicas y conductuales. Primero, es altamente sensible a la fragmentación y pérdida de conectividad de los matorrales y bosques, lo que refleja directamente la degradación del hábitat urbano y periurbano (Sandoval et al., 2012). Segundo, su presencia está vinculada a la disponibilidad de microhábitats, como claros forestales, riberas de ríos y matorrales nativos, que son fundamentales para la alimentación, nidificación y refugio (Miranda et al., 2022). Además, su comportamiento territorial y su relativa facilidad de observación permiten registrar cambios en la abundancia y distribución en distintos fragmentos del corredor, proporcionando datos comparables a lo largo del tiempo (Sandoval et al., 2015). Por estas razones, el monitoreo de *M. leucotis* permite evaluar indirectamente la calidad ecológica, la conectividad y la integridad de los hábitats urbanos y periurbanos dentro del CBIMA, convirtiéndola en una herramienta útil para la gestión de corredores biológicos interurbanos. Esta pasantía tiene la finalidad de proporcionar información acerca de *M. leucotis* como un posible bioindicador asociado a variables ambientales en el CBIMA, Costa Rica. El estudio se centra en evaluar cómo la presencia, abundancia y distribución de esta especie reflejan la calidad ecológica, la conectividad de la trama verde y la integridad de los hábitats urbanos y periurbanos. Mediante la recopilación de datos sobre su ocurrencia en distintos fragmentos de matorrales, tacotales y claros forestales, es posible identificar áreas con mayor o menor funcionalidad ecológica y aportar información para la gestión de recursos y planificación de corredores biológicos interurbanos, con el objetivo de minimizar los impactos negativos del desarrollo urbano sin que la conservación directa de la especie sea el enfoque principal.

En esta pasantía se seleccionó a *M. leucotis* porque presenta una distribución amplia dentro del CBIMA, un comportamiento que facilita su observación una posible sensibilidad a las condiciones ambientales. Esto me permitió desarrollar un estudio enfocado en determinar su ocurrencia y analizar su relación con distintas variables ambientales, con el propósito de valorar su idoneidad como potencial bioindicador.

Objetivos de la pasantía

Objetivo General

Determinar la idoneidad de *M. leucotis* como potencial bioindicador asociado a variables ambientales en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Costa Rica.

Objetivos específicos

- Determinar la ocurrencia de *M. leucotis* en un área periurbana y urbana dentro del CBIMA, a través de observaciones personales, y bases de datos abiertas como eBird y GBIF para Costa Rica.
- Medir las variables ambientales (humedad, temperatura, velocidad del viento, intensidad lumínica, sonido del ambiente y cobertura vegetal) dentro del (CBIMA), a través de observaciones personales.
- Examinar la ocurrencia de *M. leucotis* con las variables ambientales dentro del (CBIMA), Costa Rica.

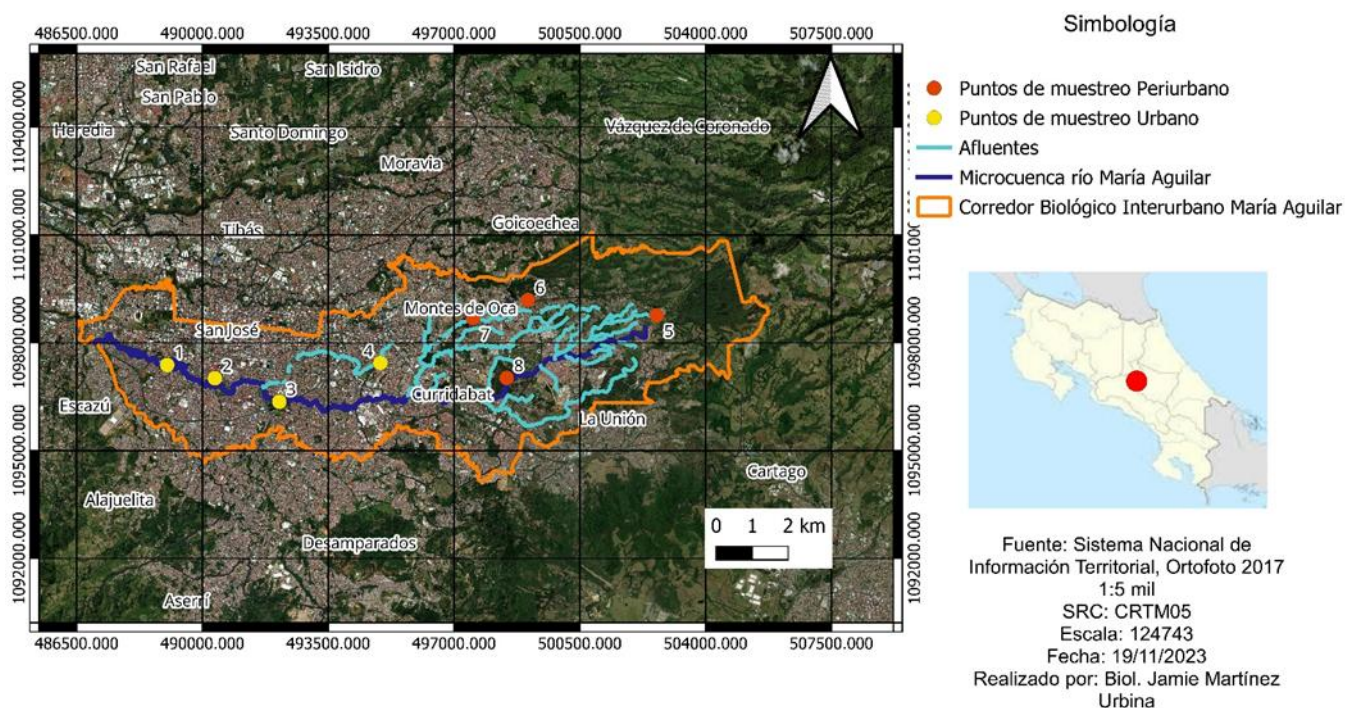
Actividades realizadas o metodología de trabajo

Funciones de la pasante en (TEVU)

Los puntos de muestreo para este estudio se seleccionaron a lo largo de la microcuenca del río María Aguilar como referencia, es decir se realizaron los muestreos de la ocurrencia de *M. leucotis* por medio de puntos de conteo fijo de dos bandas en el área del núcleo CBIMA. Para determinar la ubicación y posición de los puntos, se tomó como guía el anillo de contención establecido por PRUGAM (2015) donde divide la (GAM) en áreas como periurbanas y urbanas.

Método de selección de los sitios de muestreo en áreas (urbanas y periurbanas)

Se consideraron tres criterios para seleccionar los puntos de muestreo dentro del CBIMA, tanto para el área urbana como al periurbano. 1) Que fueran sitios que no representen conflictos o peligros, y que además cuenten con un acceso apto y sin restricciones. 2) Cada ubicación estuviera en la subcuenca del río María Aguilar a una distancia mínima de 250 m. 3) Que el área total de cada sitio de muestreo fuera lo suficientemente amplia para permitir la colocación de dos puntos de conteo fijo con 200 m de separación entre sí (**Figura 1**).

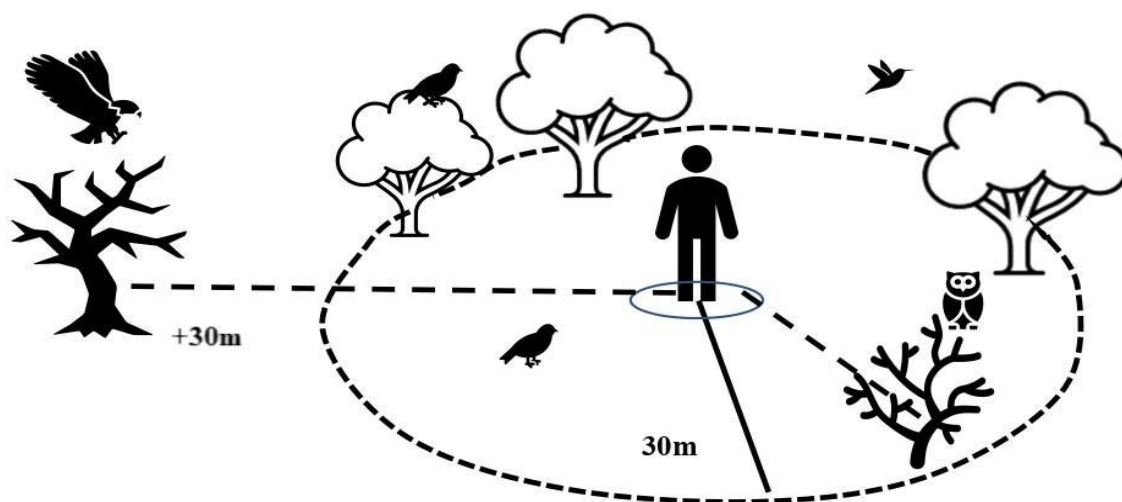


(Figura 1). Mapa basado en el anillo de contención PRUGAM, 2015 CBIMA, Costa Rica. Nota: Puntos rojos sitio periurbano y puntos amarillos sitios urbanos

Muestreo de *Melospiza leucotis*

En cada sitio de muestreo, se establecieron dos puntos de conteo fijo de dos bandas, separados por una distancia de 200 m entre sí, y se recorrieron 200 a 250m entre cada punto de conteo fijo. En cada uno de estos puntos se utilizó el método de puntos de conteo fijo de dos bandas, registrándose la ocurrencia de *M. leucotis* por vía visual o auditiva durante un período de 10 min, dentro de un círculo de 30 m de radio. Se aplicó el protocolo del Programa de América Latina para las Aves Silvestres (PROALAS), el cual establece un diseño de muestreo

basado en bandas concéntricas alrededor de los puntos de observación. Según el protocolo, la primera banda comprende el área dentro de los 30 m desde el punto de conteo, mientras que la segunda banda abarca la zona más allá de los 30 m. Esta división permite diferenciar a las aves cercanas, cuya detección es más segura y confiable, de aquellas más alejadas, cuya observación puede ser parcial o difícil. La aplicación de estas bandas garantiza que los registros de presencia y abundancia sean estandarizados y comparables, reduciendo sesgos en la estimación de densidad de especies y facilitando el análisis de la distribución espacial de aves, incluyendo *M. leucotis*, en distintos fragmentos de hábitat del CBIMA (**Figura 2**) (Ruiz-Gutiérrez, et al., 2020).



(Figura 2). Dimensiones de un punto de conteo fijo de dos bandas.

Se llevaron a cabo los muestreos en dos horarios diferentes, uno por la mañana de 06:00 h a 08:00 h y otro por la tarde de 15:00 h a las 17:00 h, con el objetivo de obtener una representación más completa de la ocurrencia de *M. leucotis*. La selección de estos horarios se basó en las investigaciones de Ralph, et al. (1996) y De la Maza y Bonaci (2013), quienes señalan que estas horas son cuando las aves presentan mayor movimiento. Para prevenir contar el mismo individuo más de una vez, se esperó un intervalo de 3 min antes de registrar a otro

individuo diferente (Ortega-Álvarez et al., 2012).

Variables ambientales

Se midieron un total de cinco variables, cada una de estas variables fue medida en ambos puntos de conteo fijo previamente determinados en los diferentes sitios tanto para el área urbana como periurbana. De acuerdo con las variables ambientales de: temperatura, la intensidad lumínica y el sonido del ambiente fueron medidas por medio de un sensor vernier donde la resolución era de 0.1°C ; 1.2×10^{-2} m/s, 0-600 lux, 0-6000 lux a 0-15000 lux y 0,1dB respectivamente. Por otro lado, para la variable humedad se utilizó la aplicación AccuWeather donde el valor obtenido fue en porcentaje (%) y valores que iban de 0 a 250. Mientras más cercano fuera el valor a 0, mejor era el resultado (AccuWeather, 2021). Además, se utilizó la aplicación móvil Canopeo (Oklahoma State University, 2015) para medir la cobertura vegetal. Esta aplicación, a través de fotografías, permitiría medir la cantidad de vegetación presente del sitio.

Análisis para la ocurrencia de *Melospiza leucotis*

Para representar la ocurrencia de *M. leucotis* se obtuvieron de tres fuentes: una por medio de observaciones personales, otra por ocurrencias reportadas en eBird y GBIF. Estos datos fueron representados por un histograma para ambos sitios (periurbana y urbana), y se realizó en el software Rstudio (R Core Team, 2023) (Figura 3). Para este estudio, se seleccionó *M. leucotis* en eBird filtrando únicamente los registros de mis puntos de muestreo en el CBIMA. Primero, se ingresó a eBird y se buscó la especie por su nombre científico. Luego, se definió el área de estudio usando las coordenadas exactas de los sitios de muestreo, asegurándose de incluir solo los puntos relevantes. Se aplicaron filtros de fecha para coincidir con el período de trabajo de campo, así como filtros de lista de tipo estacionaria y caminata, además el esfuerzo de observación fue de 4 meses de observación de la especie en ambos esquemas, para asegurar la calidad y comparabilidad de los datos. Se obtuvieron los registros de ocurrencia y abundancia que reflejan de manera precisa la distribución de la especie en los sitios de estudio.

Análisis de la ocurrencia de *Melospiza leucotis* y variables ambientales

Se ejecutó un análisis de componentes principales (PCA) por medio de regresiones

lineales múltiples, con una distancia euclidiana, para identificar que variables ambientales influyeron con la ocurrencia de *M. leucotis* (McQueen, 2020). Por otro lado, se realizaron correlaciones lineales utilizando el nivel de confianza del 95 %, ($p= 0.05$) para evaluar el grado de agrupación de la ocurrencia de *M. leucotis* y las variables ambientales. Asimismo, con el fin de evaluar las diferencias en las variables ambientales entre los esquemas urbano y periurbano, se empleó un enfoque multivariado basado en un Análisis de Componentes Principales (PCA), el cual permitió identificar las variables con mayor contribución a la variación observada y su relación con la distribución de los sitios de muestreo.

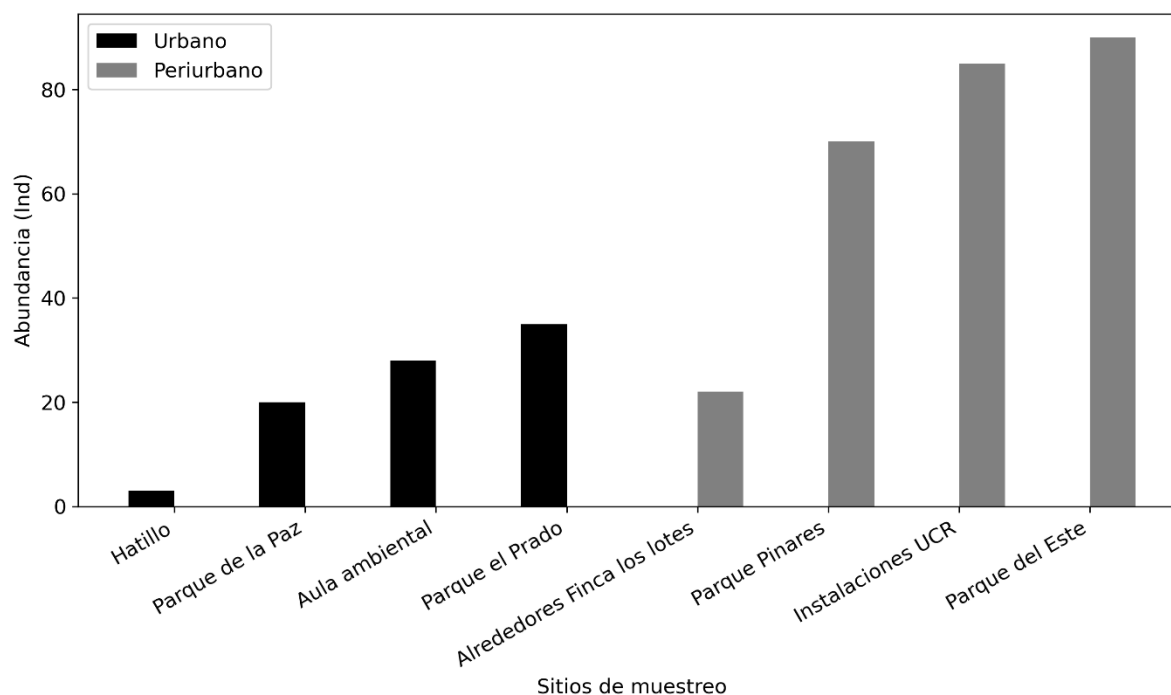
Dado que el PCA es un método de carácter exploratorio, se complementó el análisis mediante un PERMANOVA y un ANOSIM, con base en distancias euclidianas y 9999 permutaciones, con el objetivo de evaluar la significancia estadística de las diferencias entre los grupos. Este análisis permitió determinar si las variables ambientales, en conjunto, difieren entre los esquemas urbano y periurbano. En una segunda ejecución del análisis, se excluyó la variable de intensidad lumínica con el fin de evaluar únicamente los factores que influyen directamente en la presencia y abundancia de *M. leucotis*. La exclusión se justificó debido a que la intensidad lumínica, aunque puede variar entre sitios, representa un factor determinante en los procesos de selección de hábitat, alimentación o reproducción de la especie, a diferencia de variables como la cobertura vegetal o la disponibilidad de recursos (Villaseñor y Santana, 2019) Todos estos análisis se realizaron en el software Rstudio (R Core Team, 2023).

Resultados obtenidos de la pasantía

Análisis de la ocurrencia de *Melozona leucotis*

Se registraron un total de 359 individuos de *M. leucotis* en ambos esquemas (urbano y periurbano) en el Corredor biológico interurbano María Aguilar. Asimismo, se clasificaron los individuos observados por medio de un histograma (**Figura 3**), en donde se puede observar la ocurrencia de *M. leucotis* en ambos esquemas del CBIMA. En el esquema urbano se observaron y se escucharon 89 individuos en total, donde el sitio de muestreo con mayor ocurrencia fue el Parque el Prado con 36 individuos, en cambio el sitio de muestreo con menor ocurrencia es Hatillo con 3 individuos. Por otro lado, en el esquema periurbano se observaron y se escucharon

270 individuos en total, donde el sitio de muestreo con mayor ocurrencia fue el Parque del Este con 90 individuos, en cambio el sitio de muestreo con menor ocurrencia fue en los Alrededores Finca los Lotes con 23 individuos.

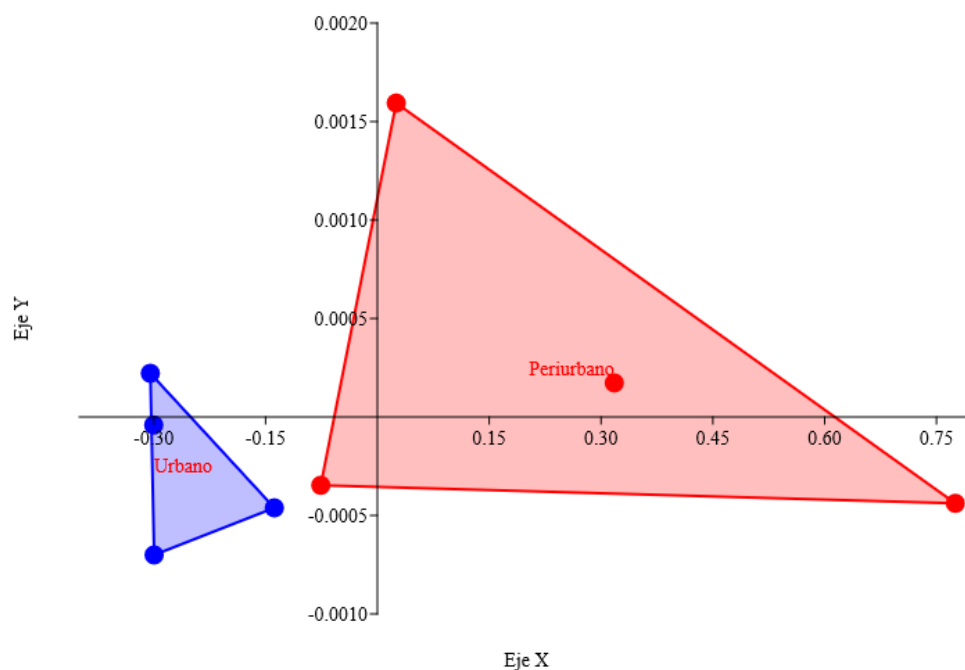


(Figura 3). Representatividad de número de individuos encontradas en los diferentes sitios de muestreo en ambos esquemas (Urbano y Periurbano) en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar de Costa Rica.

Estructura de *Melozone leucotis* en ambos esquemas (Urbano y Periurbano)

Para determinar si existen diferencias significativas entre los esquemas se realizó un análisis de similitud ANOSIM con la distancia euclidiana. El cual confirmó que existen diferencias significativas entre ambos esquemas mostrando una diferencia de ($p < 0.02$) positiva ($r = 0.46$). Estos resultados indican que la ocurrencia de *M. leucotis* difiere entre los tipos de hábitat evaluados, sugiriendo una mayor presencia de la especie en áreas periurbanas en comparación con las zonas urbanas, posiblemente debido a la mayor disponibilidad de cobertura vegetal y recursos en estos entornos. Esta interpretación permite vincular los resultados estadísticos con patrones ecológicos observables en el CBIMA. Se observa de manera gráfica

el escalamiento multidimensional no métrico (NDMS) con distancia euclidiana para ambos esquemas (urbano y periurbano) (**Figura 4**).



(Figura 4). Representatividad del escalamiento multidimensional no métrico NMDS de ambos esquemas (Urbano y Periurbano) en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Costa Rica. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.

Relación entre la ocurrencia de *Melozone leucotis* con las variables ambientales

Se realizó un PERMANOVA basado en una distancia euclidiana, evidenció variaciones entre los esquemas urbano y periurbano ($p < 0.03$; $F = 7.135$). Estos resultados reflejan que la presencia y abundancia de *M. leucotis* no se distribuyen de la misma manera en ambos tipos de hábitat. La especie muestra una mayor ocurrencia en áreas periurbanas, donde la cobertura vegetal y quizás la disponibilidad de recursos favorecen su permanencia. En contraste, en zonas urbanas más fragmentadas se observan menores registros de la especie dentro del CBIMA.

En el análisis inicial mediante Análisis de Componentes Principales (PCA), la variable de intensidad lumínica mostró una fuerte influencia sobre la estructura de los datos, dominando la variación observada y generando una separación marcada entre los sitios de muestreo. Esta

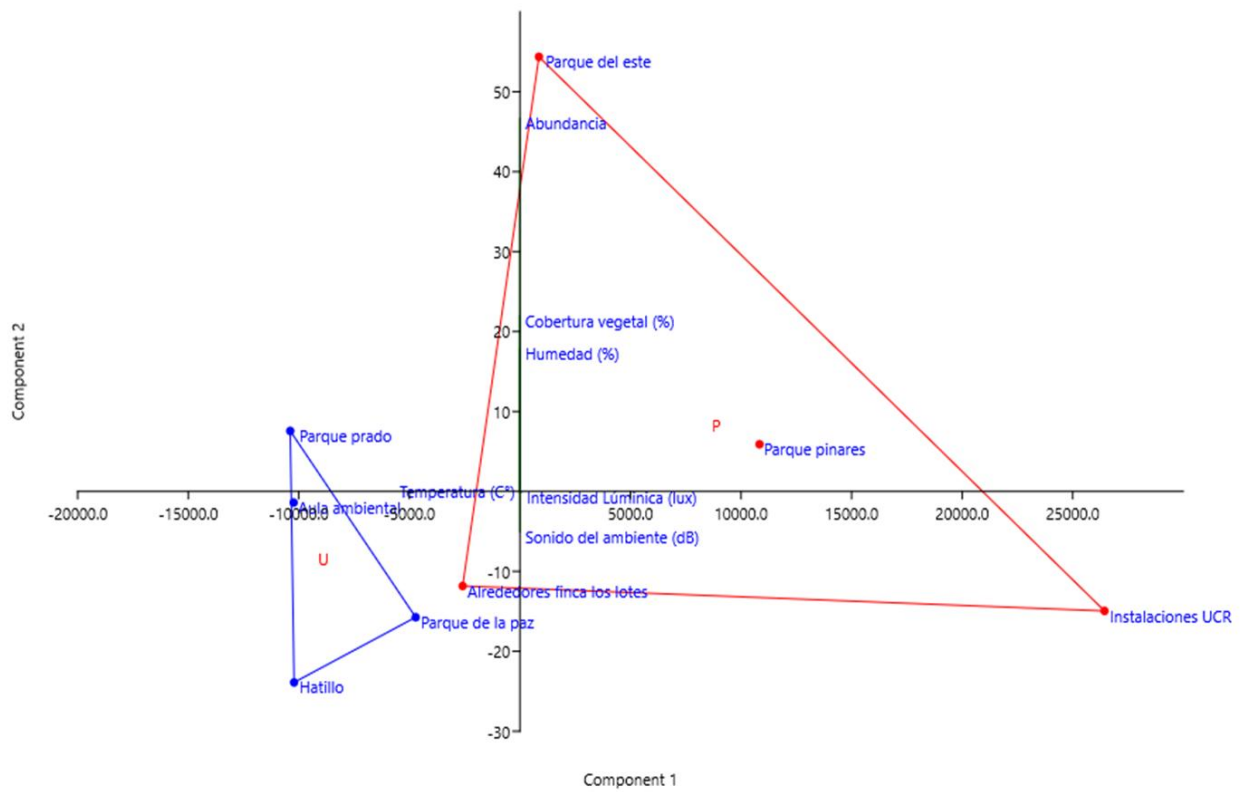
predominancia sugiere que la luminosidad actúa como un factor determinante en la diferenciación entre ambientes urbanos y periurbanos.

Sin embargo, debido a la alta escala de esta variable y su efecto desproporcionado en el análisis multivariado, se realizó un segundo PCA excluyendo la intensidad lumínica, con el fin de evaluar con mayor precisión la contribución del resto de variables ambientales. Este enfoque permitió identificar que la abundancia de individuos de *M. leucotis*, junto con variables como la cobertura vegetal y la humedad, presentan una mayor asociación con la estructura ambiental de los sitios, mientras que variables como el ruido ambiental y la temperatura mostraron una menor influencia relativa.

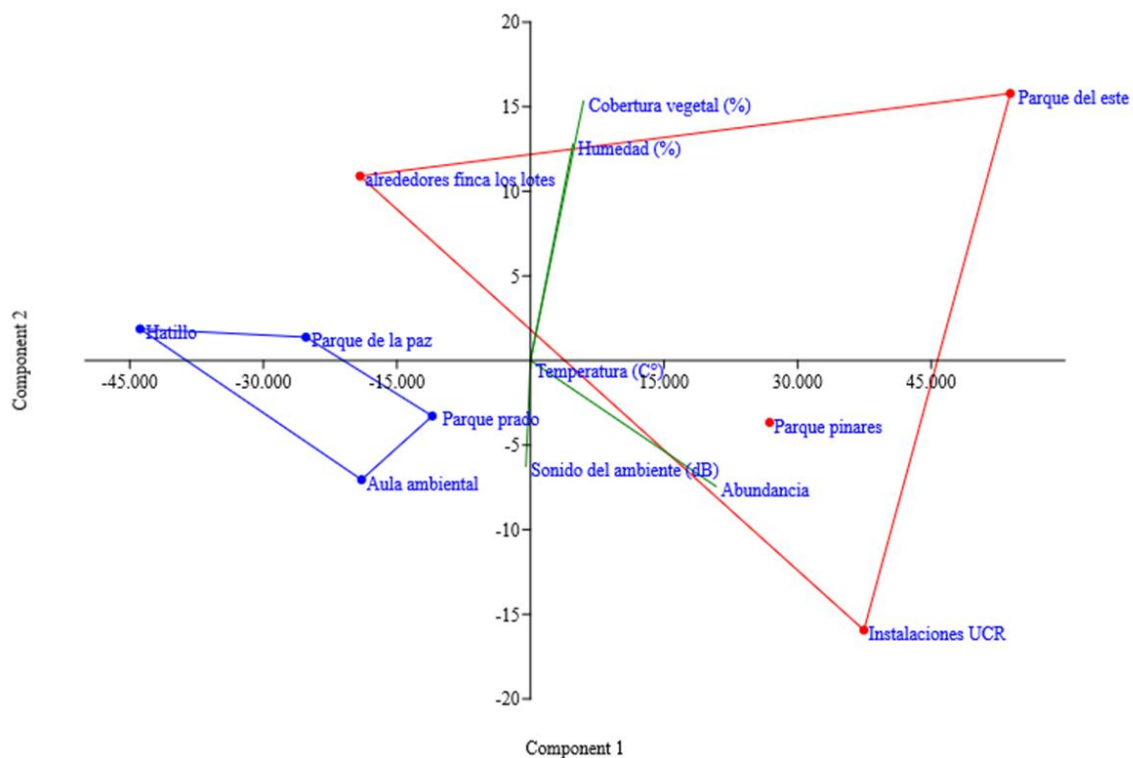
Estos resultados indican que, aunque la intensidad lumínica desempeña un papel importante en la diferenciación general de los ambientes, la distribución y abundancia de *M. leucotis* están más estrechamente relacionadas con un conjunto de variables ambientales que reflejan las condiciones ecológicas del hábitat, particularmente aquellas asociadas a la disponibilidad de cobertura vegetal y niveles de humedad.

Para respaldar estos patrones, se aplicó un análisis PERMANOVA basado en distancias euclidianas y 9999 permutaciones, el cual evidenció diferencias significativas entre los esquemas urbano y periurbano ($F = 7.135$; $p = 0.0306$). Esto confirma que las variables ambientales, en conjunto, difieren entre ambos tipos de entorno y que dichas diferencias influyen en la distribución de *M. leucotis* dentro del área de estudio.

Para tener una visión más clara de la forma en que se distribuyeron por esquema (urbano y periurbano) y todas las variables de este estudio, llevé a cabo un análisis de componentes principales (PCA). La **(figura 5)** muestra el PCA con la variable de intensidad lumínica y en la figura 6 presenta el PCA sin la variable de la intensidad lumínica.

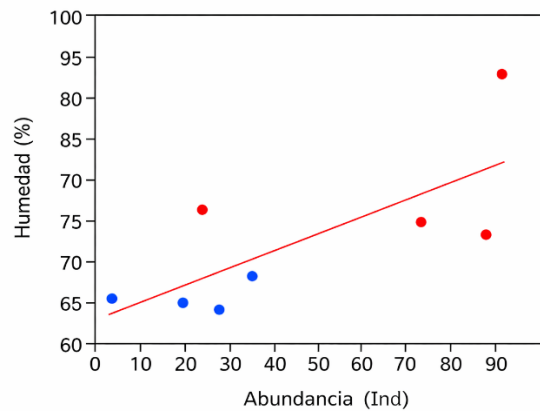


(Figura 5.) Gráfico de componentes principales (PCA) con la variable de intensidad lumínica. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.



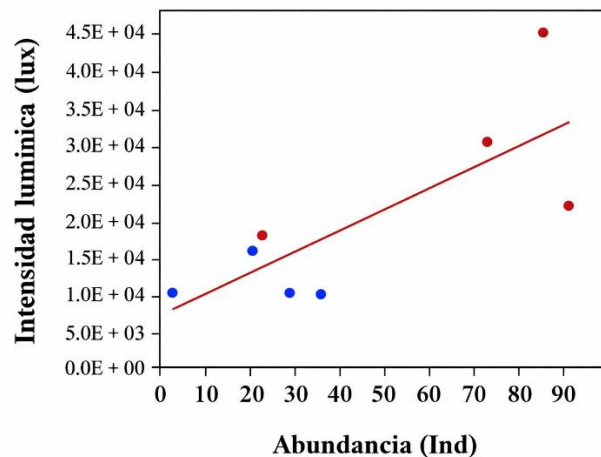
(Figura 6). Gráfico de análisis de componentes principales (PCA) sin la variable de intensidad lumínica. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.

Según la correlación entre la abundancia y las variables ambientales, la pendiente de la recta fue 0.2606, lo que indica que por cada unidad de aumento en la abundancia de *M. leucotis*, la humedad ambiental también incrementa ligeramente (**Figura 7**). La relación entre ambas variables resultó positiva y significativa ($r = 0.73$, $p < 0.03$), lo que evidencia que la humedad constituye un factor relevante en la distribución de la especie dentro del CBIMA. Se observa que los sitios de muestreos periurbanos tienden a concentrarse en valores más altos de humedad y de abundancia, mientras que las urbanas se agrupan hacia los valores más bajos de ambas variables.



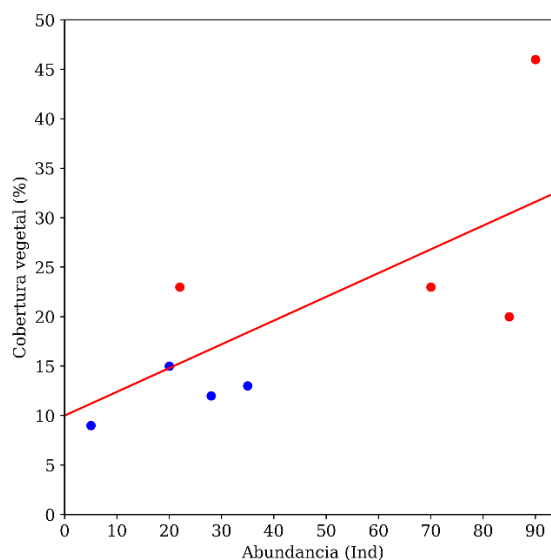
(Figura 7.) Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la humedad. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.

Se encontró una fuerte correlación positiva ($r = 0.76$, $p < 0.02$) entre la abundancia y la intensidad lumínica, lo que indica que la especie tiende a utilizar áreas con mayor iluminación durante sus actividades de forrajeo y vigilancia (**Figura 8**). Al observar la distribución, se notaron que los sitios periurbanos (puntos rojos) se asocian en su mayoría con valores más elevados tanto de abundancia como de intensidad lumínica. En contraste, los sitios urbanos (puntos azules) tienden a concentrarse en la parte baja de ambas variables, lo que indica una posible diferencia estructural entre las zonas.



(Figura 8). Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la intensidad lumínica. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.

Se observó que la especie utilizó con mayor frecuencia áreas con abundante cobertura vegetal, lo cual evidencia una asociación con este tipo de ambientes. Esta tendencia se reflejó en una fuerte correlación positiva entre la abundancia de *M. leucotis* y la proporción de cobertura vegetal en los sitios de muestreo ($r = 0.73$, $p < 0.03$). Asimismo, y el gráfico muestra claramente la diferencia entre zonas urbanas y periurbanas, donde los sitios periurbanos presentan valores más altos tanto en cobertura vegetal como de abundancia de la especie, mientras que los sitios urbanos se agrupan en valores más bajos de ambas variables (**Figura 9**).



(Figura 9). Gráfico del modelo lineal multivariado en ambos esquemas (urbano y periurbano) el cual mostró niveles de correlación significativos en relación con la abundancia y la cobertura vegetal. Los puntos rojos son los sitios de muestreo en el esquema periurbano y los puntos azules son los urbanos.

Discusión de resultados

El estudio de *M. leucotis* en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) evidencia que esta especie responde de manera sensible a las variaciones de hábitat entre esquemas urbano y periurbano. Esta respuesta puede explicarse porque los diferentes tipos de

cobertura vegetal y la estructura del paisaje influyen directamente en la disponibilidad de recursos clave, como alimento y refugio, así como en la conectividad entre territorios. La presencia de vegetación densa proporciona microclimas más estables, sitios adecuados para anidación y protección frente a depredadores, al mismo tiempo que facilita la comunicación y la vigilancia entre individuos. Por lo tanto, la especie ajusta su uso del hábitat según estas características, lo que subraya la importancia de mantener corredores y espacios verdes en entornos urbanos y periurbanos para favorecer la persistencia de poblaciones locales (Juárez et al., 2022).

En términos de elevación, el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) abarca un gradiente altitudinal que se extiende aproximadamente entre los 1,050 y 1,650 m.s.n.m., desde las planicies más urbanizadas del Valle Central hasta las zonas altas y periurbanas de los cantones de Curridabat, Montes de Oca y Escazú. Las áreas urbanas se concentran principalmente en las cotas más bajas, donde la fragmentación del hábitat y la densidad constructiva son mayores, mientras que las zonas periurbanas se ubican en elevaciones superiores, con una mayor cobertura vegetal y una topografía más variable. En los sectores de mayor altitud, encontré una mayor abundancia de individuos, asociada con una mayor cobertura vegetal y niveles más altos de humedad, lo que sugiere que estos factores favorecen el forrajeo, el refugio y la reproducción. Estas diferencias altitudinales generan gradientes micro climáticos y de disponibilidad de recursos que influyen directamente en la composición, distribución y conectividad de las especies dentro del corredor (Collado et al., 2013; Gutiérrez et al., 2024).

En contraste, en las áreas urbanas más fragmentadas, la disponibilidad de recursos como el refugio podría ser más limitada y la conectividad entre parches vegetales disminuye, lo que puede restringir la movilidad de *M. leucotis* y reducir su capacidad para mantener poblaciones estables. Esta disminución de la conectividad funcional afecta la dispersión y la persistencia de especies dependientes de hábitats continuos, evidenciando cómo la estructura urbana condiciona los procesos ecológicos dentro del CBIMA (Betts et al., 2014; Pardini et al., 2017; Romero-Vargas et al., 2018). Esta tendencia se alinea con la literatura, que indica que los entornos periurbanos funcionan como zonas de transición que permiten la coexistencia de especies adaptadas tanto a ambientes urbanos como naturales (Chávez, 2017; Quesada-Acuña et al.,

2018; Artavia y Valle, 2013). En el contexto del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA), esta dinámica es particularmente relevante, ya que su estructura ecológica combina sectores altamente urbanizados con remanentes de vegetación riparia y fragmentos boscosos que actúan como refugios y vías de conectividad para la fauna silvestre. Estas condiciones favorecen la persistencia de especies sensibles a la alteración del hábitat y refuerzan el papel del CBIMA como un espacio clave para el mantenimiento de procesos ecológicos y la conservación de la biodiversidad en paisajes urbanos (SINAC, 2018; Morera y Sandoval, 2021)

Además, la presencia de *M. leucotis* en ambos esquemas cumple con el primer objetivo específico del estudio, que era determinar su ocurrencia en el CBIMA.

Los resultados que obtuve mediante ANOSIM y PERMANOVA muestran diferencias claras entre los esquemas urbano y periurbano, destacando que la composición y abundancia de *M. leucotis* difiere entre tipos de hábitat. Esto respalda su utilidad como bioindicador, ya que su abundancia refleja de manera rápida cambios en la calidad del hábitat y la conectividad funcional de los corredores biológicos (Pimenta et al., 2009; Filloy et al., 2019). La diferencia positiva encontrada en ANOSIM sugiere que *M. leucotis* se concentra más en sitios periurbanos con mayor cobertura vegetal, mientras que en áreas urbanas su presencia disminuye, posiblemente debido a la pérdida de hábitats funcionales y fragmentación del entorno (Silva et al., 2016; Cristaldi et al., 2017; Benito et al., 2019; Muñoz-Pedrerros et al., 2018).

El análisis de correlación con variables ambientales indica que la abundancia de *M. leucotis* se asocia positivamente con cobertura vegetal, humedad e intensidad lumínica. La cobertura vegetal proporciona recursos alimenticios, refugio y microclimas estables, favoreciendo la reproducción y la comunicación entre individuos (Berget, 2006; Turner et al., 2003; Mansor et al., 2019). Estudios recientes han demostrado que la complejidad estructural de la vegetación incrementa la diversidad acústica y facilita la transmisión de señales entre aves, lo que permite interacciones sociales más eficaces, como vigilancia, alertas y defensa territorial (Retamosa Izaguirre et al., 2021). Asimismo, ambientes con vegetación densa y conectividad de parches verdes reducen la interferencia del ruido antropogénico y estabilizan microclimas, lo que permite que los individuos mantengan interacciones de comunicación más frecuentes y efectivas, promoviendo su persistencia en paisajes urbanos y periurbanos (Jin y Wang, 2025).

La humedad del microhábitat desempeña un papel fundamental en la calidad del refugio, ya que influye en la densidad y persistencia de la vegetación, la disponibilidad de cavidades naturales y la protección frente a depredadores y condiciones climáticas extremas. Además, afecta directamente la abundancia de presas como insectos, que dependen de niveles adecuados de humedad para su desarrollo y actividad, lo que impacta la eficiencia del forrajeo de las especies (Bickford et al., 2010; McCain, 2007; Stratford y Stouffer, 1999; Montero-Muñoz y Sáenz, 2007). Un microhábitat con humedad adecuada puede mejorar la supervivencia y el bienestar de los individuos, al mantener refugios frescos y vegetación densa que sirve para anidación y cobertura (Barrientos, 2020; Checa et al., 2009). Por otro lado, excesos de humedad podrían generar efectos negativos, como la proliferación de patógenos o la degradación de sustratos de refugio, lo que podría limitar la disponibilidad de sitios seguros. En este sentido, la humedad interactúa con la estructura vegetal y la conectividad del hábitat para determinar la calidad global del refugio, teniendo generalmente un efecto positivo cuando se mantiene dentro de rangos óptimos para las especies, pero pudiendo ser negativa si excede los niveles tolerables (Ficetola y De Bernardi, 2004; Kearney et al., 2009; Stewart y Mallik, 2006).

Por su parte, la intensidad lumínica influye significativamente en los procesos ecológicos al incrementar la visibilidad, lo que facilita la detección de presas, mejora la vigilancia frente a depredadores y potencia la comunicación visual entre individuo (Calvo-Villalobos et al., 2018; Tovar, 2019; Fallas, 2018; Calvo, 2017). En el contexto del CBIMA, esta variable adquiere especial relevancia: al encontrarse en un paisaje urbano-periurbano con parches de vegetación intercalados entre zonas altamente iluminadas, la intensidad de luz modifica cómo las especies utilizan los hábitats (usuarios humanos, iluminación artificial, bordes de zonas verdes) (Solano-Monge, 2017). Por ejemplo, en tramos con mayor iluminación artificial o exposición solar directa la eficacia del forrajeo y la vigilancia podría incrementarse, pero también podría aumentar el riesgo de detección por depredadores o perturbar comportamientos de alarma o socialización (Adams et al., 2021). En ese sentido, aunque la cobertura vegetal y la humedad siguen siendo los factores primarios que determinan calidad de hábitat, la intensidad lumínica actúa como un modulador importante de la conducta de uso del espacio por parte de las especies dentro del corredor, y por tanto merece atención en los planes de gestión del CBIMA.

Los PCA muestran que los sitios periurbanos concentran valores altos de abundancia y cobertura, mientras que los urbanos se agrupan en niveles más bajos, reflejando la diferencia estructural y funcional de ambos hábitats. En el caso de *M. leucotis*, especie que utiliza principalmente sotobosque denso y bordes forestales para alimentarse de insectos y semillas y construir sus nidos bajo cobertura vegetal, estas diferencias toman especial relevancia (Sandoval y Mennill, 2012; Rodríguez-Bardía et al., 2022). Estudios que evaluaron el efecto de la urbanización sobre su tamaño de territorio revelan que en ambientes urbanos altamente modificados esta especie presenta territorios más amplios, lo que sugiere mayor esfuerzo para localización de recursos y defensa territorial cuando la estructura vegetal es escasa (Juárez et al., 2020). En contraste, los parches periurbanos con mayor vegetación conectada y cobertura funcional ofrecen mejores condiciones de refugio, microclima estable y mayor disponibilidad de recursos, favoreciendo la persistencia y la eficiencia del uso del hábitat. Dentro del CBIMA, estos patrones son consistentes con la función del corredor como espacio de conectividad entre áreas verdes periurbanas y urbanas, permitiendo que *M. leucotis* y otras especies sensibles mantengan poblaciones estables a pesar de la presión antropogénica (Juárez et al., 2022; Rodríguez-Bardía et al., 2022). La relación positiva entre abundancia y cobertura vegetal encontrada coincide con lo reportado por Strohbach et al. (2009), quienes señalan que áreas con más del 40% de cobertura albergan comunidades más diversas y numerosas. Estos resultados indican que *M. leucotis* responde de forma sensible a la calidad del hábitat y puede considerarse un potencial bioindicador de las condiciones ambientales en gradientes de urbanización, donde la cobertura vegetal actúa como un factor determinante en su distribución y abundancia.

En cuanto a la idoneidad de *M. leucotis* como bioindicador se refuerza por su sensibilidad a los cambios en la estructura del hábitat, su dependencia de vegetación densa y conectividad funcional, y su respuesta medible a gradientes de urbanización. Estudios demostraron que esta especie presenta una estructura genética notablemente más fragmentada en ambientes urbanos que en zonas periurbanas o rurales, lo que indica una alta vulnerabilidad al aislamiento del hábitat (Rodríguez-Bardía et al., 2022). Además, su tamaño de territorio aumenta en contextos urbanos con menor cobertura vegetal, lo que sugiere que la especie necesita mayores áreas para conseguir los recursos necesarios cuando la calidad del hábitat disminuye (Juárez et al., 2020). En el contexto del CBIMA, estos rasgos hacen que *M. leucotis* actúe como un indicador útil de

la funcionalidad del corredor y de la calidad de los hábitats que lo componen, ya que su abundancia, distribución y comportamiento reflejan directamente cómo la estructura del paisaje —cobertura vegetal, conectividad, fragmentación— influye en la fauna sensible al cambio urbano. La especie mostró una respuesta clara a las variables ambientales medidas, y su presencia se correlacionó con hábitats de mayor calidad especialmente en las zonas periurbanas. Esto cumple con el objetivo general del estudio, que era determinar la idoneidad de *M. leucotis* como potencial bioindicador asociado a variables ambientales en el CBIMA. La facilidad de observación de la especie y su sensibilidad a cambios en el hábitat la convierten en una herramienta útil para monitorear la salud ecológica de corredores biológicos interurbanos.

En conclusión, *M. leucotis* cumple con los criterios de un bioindicador efectivo dentro del CBIMA: responde a variaciones en cobertura vegetal, humedad e intensidad lumínica; su abundancia refleja rápidamente el estado del hábitat; es residente y de fácil monitoreo logístico; y permite obtener información significativa sobre el ambiente en un período corto (aproximadamente cuatro meses). Su uso facilita la evaluación de la conectividad biológica, la restauración de hábitats y la efectividad de los corredores interurbanos, integrando la conservación de la biodiversidad con la gestión del territorio (Opdam et al., 2006; Colorado et al., 2017; Armenteras y Vargas, 2016). De acuerdo con Armenteras y Vargas (2016), las estrategias destinadas a fortalecer la conectividad funcional no deben centrarse únicamente en la diversidad de especies, sino también en la preservación de los hábitats y en el mantenimiento de los procesos ecosistémicos a distintas escalas. Por ello, esta investigación incorpora variables relacionadas con los requerimientos ecológicos con la especie bioindicador.

Relevancia de la pasantía en su perfil profesional y conocimientos adquiridos de la experiencia

La pasantía realizada en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) fortaleció significativamente mi perfil profesional, al brindarme la oportunidad de aplicar e integrar conocimientos ecológicos en un entorno real. La identificación de *Melozona leucotis* como especie indicadora reveló contrastes claros entre los esquemas urbano y periurbano, destacando una mayor abundancia en el periurbano. Este hallazgo, asociado al carácter transicional de dicha zona, me permitió comprender cómo la diversidad y riqueza específica se

ven influenciadas por el entorno y sus condiciones particulares. Asimismo, analizar la influencia de variables como la intensidad lumínica sobre la vegetación y su efecto directo en la presencia de aves depredadoras de invertebrados, enriqueció mi capacidad de interpretar patrones ecológicos complejos y de vincularlos con procesos ecosistémicos clave.

Además, esta experiencia me permitió adquirir habilidades valiosas en análisis ecológico y evaluación de hábitats, así como en la interpretación de correlaciones entre variables ambientales y su efecto sobre la avifauna. El hecho de que tanto el entorno urbano como el periurbano mostraran relaciones positivas, aunque distintas, con factores como la humedad, cobertura vegetal e intensidad de luz, me permitió reflexionar sobre cómo las condiciones del paisaje influyen en la movilidad y establecimiento de las especies. Este aprendizaje no solo refuerza la importancia del diseño de estrategias de manejo basadas en evidencia, sino que también me posiciona como un profesional más capacitado para contribuir en proyectos de conservación urbana, promoviendo soluciones que integren la biodiversidad con el desarrollo sostenible

Conclusiones y recomendaciones

Al analizar la ocurrencia de *M. leucotis* en el CBIMA, se identificaron diferencias significativas entre los esquemas urbano y periurbano. En este estudio, se registró una mayor abundancia de individuos en las áreas periurbanas en comparación con las urbanas. Este patrón puede estar asociado a las características de las zonas periurbanas, las cuales, al constituir áreas de transición entre ambientes urbanos y rurales, presentan una mayor heterogeneidad de hábitats y cobertura vegetal, lo que podría favorecer la presencia de la especie en los distintos sitios de muestreo evaluados.

Se evidenció que la variable que tuvo mayor influencia en ambos contextos fue la intensidad de la luz, ya que en las zonas urbanas y periurbanas se encuentran especies vegetales con distintas preferencias lumínicas: algunas toleran altos niveles de luz, mientras que otras prosperan en condiciones de sombra. Esta variabilidad en la vegetación incide directamente en el aumento o disminución de la cantidad de especies de aves, debido a su relación con la disponibilidad de alimento.

De acuerdo, a que ambos esquemas (periurbano y urbano) presentaron una correlación positiva con las variables ambientales (humedad, intensidad lumínica y cobertura vegetal) pero con diferente relación, esto se debe a que las particularidades de cada sitio favorecen el movimiento de distintas especies en busca de los recursos que requieren para su supervivencia, como alimento, refugio y reproducción. En los parches periurbanos, la mayor cobertura vegetal y la conectividad funcional facilitan la movilidad y la permanencia de especies sensibles, mientras que, en las áreas urbanas, la fragmentación y la menor disponibilidad de recursos limitan el uso del hábitat y concentran las especies más tolerantes a la alteración. Estos patrones reflejan la importancia de considerar las características estructurales y funcionales del paisaje al evaluar la idoneidad de especies bioindicadores, y subrayan que *M. leucotis* puede ser un indicador confiable de la calidad ambiental dentro del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, permitiendo identificar áreas prioritarias para conservación y manejo sostenible del corredor.

Por otro lado, esta investigación representa un aporte para orientar futuras decisiones relacionadas con estrategias y acciones de manejo y conservación de la biodiversidad en el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar. Los resultados obtenidos sugieren que el aumento y la conservación de coberturas vegetales, especialmente en parches boscosos y áreas de protección asociados a ríos y quebradas, podrían favorecer la presencia y abundancia de *M. leucotis*, debido a su asociación con sitios que presentan mayor cobertura vegetal y condiciones de humedad más elevadas.

Asimismo, el fortalecimiento de la conectividad entre estos parches mediante corredores vegetales urbanos podría contribuir a reducir los efectos de la fragmentación del hábitat, facilitando el desplazamiento de la especie entre los sitios de muestreo. En este sentido, la gestión de espacios periurbanos con mayor heterogeneidad estructural y cobertura vegetal se perfila como un elemento clave para mantener poblaciones de la especie dentro del CBIMA, así como para promover la funcionalidad del paisaje urbano.

Recomiendo además utilizar otras especies de aves como bioindicadores para comparar cómo diferentes variables ambientales pueden influir en su abundancia y comportamiento. Sugiero clasificarlas por gremios tróficos, identificar los tipos de vegetación presentes en los

puntos de muestreo y ampliar el período de estudio para incluir tanto la época seca como la lluviosa, lo que permitirá obtener una visión más completa de la dinámica ecológica en el CBIMA.

Referencias bibliográficas

- Abril, J.M (2023). Regeneración del paisaje urbano, trama verde y espacio público como instrumento de desarrollo sostenible.
- Acosta, V. (2013). Pérdida de hábitats y biodiversidad desvanecida en la ciudad de Heredia (Costa Rica). *Ambientico*, 41(3), 64-74.
- AccuWeather. (2021). AccuWeather (7.9.1). [Aplicación móvil]. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.accuweather.android&hl=es_CR&gl=US
- Adams, C. A., Fernández-Juricic, E., y Bayne, E. M., (2021). Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map. *Environmental Evidence*, 10, 37. <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00246-8>
- Arauz, B.I., y Arias, N.A. (2016). Corredores biológicos como potenciadores del desarrollo local: Estudio de caso del corredor biológico Alexander Skutch.
- Aronson, M.F.J., Lepczyk, C.A., Evans, K.L., Goddard, M.A., Lerman, S.B., Macivor, J.S., Nilon, C.H., y Vargo T. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Front Ecol Environ*.
- Armenteras, D. y Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biológica Colombiana*, 21(1), 229-239.
- Artavia, R., y Valle, D. (2013). Diagnóstico preliminar de avifauna para instaurar el Corredor Biológico Interurbano Río Torres en el cantón San José. *Ambientico*, 232(233), 56-63.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1996, abril 16). *Ley Forestal N.º 7575*. <https://www.sinac.go.cr/ES/transprncia/Leyes/Ley%20Forestal%20N%C2%BA%207575.pdf>
- Babbar, A., L. (2017). La Organización para Estudios Tropicales: 55 años de logros. ISSN

1409-214X. Ambientico 264, Artículo 3. Pp. 20-251.

Baldares, T. M. (2012). Plan regional urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica: avances y desafíos. *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 5(9).

Barrientos, Z. (2020). Microhabitat selection, and seasonal and daily activity of the snail *Tikoconus costarricanus* (Stylommatophora: Euconulidae) in tropical montane wet forest understory. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 347-360. <https://www.redalyc.org/journal/449/44966323010/>

Berlanga H., J. A. Kennedy, T. D. Rich, M. C. Arizmendi, J. C. Beardmore, P. J. Blancher, G. S. Butcher, A. R. Couturier, A. A. Dayer, D. W. Demarest, W. E. Easton, M. Gustafson, E. Iñigo-Elias, E. A. Krebs, A. O. Panjabi, V. Rodríguez Contreras, K. V. Rosenberg, J. M. Ruth, E. Santana Castellón, R. M. Vidal y T. Will. (2010). Conservando a nuestras aves compartidas: La visión trinacional de “Compañeros en Vuelo” para la conservación de las aves terrestres. Cornell Lab of Ornithology: Ithaca, N.Y. 49 p.

Benito, J.F., Escobar, M. y Villaseñor, N.R. (2019). Conservación en la ciudad: ¿Cómo influye la estructura del hábitat sobre la abundancia de especies de aves en una metrópoli Latinoamericana? *Gayana* 83(2):114-125

Berget, C. (2006). Efecto del tamaño y de la cobertura vegetal de parques urbanos en la riqueza y diversidad de la avifauna de Bogotá, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 9. pp. 2-12.

Betts, M. G., Fahrig, L., Hadley, A. S., Halstead, K. E., Bowman, J., Robinson, W. D., Wiens, J. A., y Lindenmayer, D. B. (2014). A species-centered approach for uncovering generalities in organism responses to habitat loss and fragmentation. *Ecography*, 37(6), 517-527.

Bickford, D., Howard, S. D., Ng, D. J. J., y Sheridan, J. A. (2010). Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity and Conservation*, 19(4), 1043-1062. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9780-4>

- Bock, C.E. y F.J. Zach. (2004). Avian habitat evaluation: should counting birds count? *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:403-410.
- Calvo-Villalobos, J. E., Bermúdez-Rojas, T., y Vega-Bolaños, H. (2018). Composición y estructura forestal del Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica. *Revista forestal mesoamericana Kurú*, 15(36), 9-19.
- Calvo, J. (2017). Propuesta para la restauración de la cobertura vegetal en la zona ribereña del río Tibás como insumo para el establecimiento de un corredor biológico interurbano. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Cambronero, C.E.D., Marín, M.M., y Reyes, R.G. (2019). Análisis del capital natural y los servicios ecosistémicos para la definición de un corredor biológico interurbano en la microcuenca del río Bermúdez. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18151>
- Collado, U.A., González, A.D., Mayorga, J.M., Rocha, S.E., y Vargas, J.E. (2013). Modelo metodológico para la articulación de cuenca urbana: aplicación en la subcuenca del río María Aguilar, Costa Rica. [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].
- Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO). (2017). Listado de especies en peligro de extinción, amenazadas o con poblaciones reducidas. Resolución 092-MINAE. Alcance Digital N° 239 a La Gaceta N° 187. Recuperado de <https://www.conagebio.go.cr/en/node/127>
- Cueva, R. F. (2023). Efecto del aislamiento urbano espacial y temporal en la diversidad genética, características acústicas y morfológicas de *Melospiza leucotis* (Aves: Passerellidae). Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica.
- Chávez-Almonacid, C.A. (2014). Relación entre la avifauna, la vegetación y las construcciones en plazas y parques de la ciudad de Valdivia. Universidad Austral de Chile.
- Chávez, W., A., A. (2017). Diversidad de aves del campus universitario de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. *Siembra*, 4(1), 172-182.

- Checa, M. F., Chacón, I., y García, E. (2014). Microclimate variability significantly affects the composition, abundance and phenology of butterfly communities in a highly threatened neotropical dry forest. *Florida Entomologist*, 97(1), 45-56. <https://doi.org/10.1653/024.097.0101>
- Cruz, A. J. L. (2023). Aves y uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano El Alto, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 71(2), 1-15. <https://doi.org/10.15517/rbt.v71i2.52274>
- Cristaldi, M.A., Giraudo, A.R., Arzamendia, V., Bellini, G.P., y Claus, J. (2017). Urbanization impacts on the trophic guild composition of bird communities. *Journal of Natural History* 51(39-40):2385-2404
- De la Herra, I., Unanue, A., y Aguirre, I. (2009). Efectos del área, edad y cobertura de la vegetación sobre la riqueza de especies de aves reproductoras en los parques urbanos de Vitoria-Gasteiz. *Munibe Ciencias Naturales*, 57, 195-206.
- De la Maza M. y Bonacic, C. (2013). Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile. Serie Fauna Australis, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, 202pp.
- Fallas, A. (2018). Riqueza de especies y abundancia de aves residentes y migratorias en parques urbanos de San José, Costa Rica. *UNED Research Journal* 10 (1): 21-32.
- Feoli, S. (2013). Corredor Biológico Interurbano del Río Torres y corredores biológicos en general. *Ambientico*, 232-233:51-55.
- Ficetola, G. F., y De Bernardi, F. (2004). *Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure in the agricultural mosaic of northern Italy*. *Biological Conservation*, 119(3), 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.12.008>
- Fick, S., y Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: new 1km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 37 (12): 4302-4315.

- Filloy, J., Zurita, G. A., y Bellocq, M. I. (2019). Bird Diversity in Urban Ecosystems: The Role of the Biome and Land Use Along Urbanization Gradients. *Ecosystems*, 22(1), 213–227. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0264-y>
- Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., y Pérez-Gómez, G. (2017). La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis*, 31(1-2).
- González, E. (2003). Erosión: la importancia de la conservación del suelo. *Vida rural*, 169: 22-24.
- González, M. (2009). Avifauna Urbana en América Latina: Estudios de Caso. *Gestión Ambiental*, 17, 55-68.
- González, N., S., Arriaga, S., Ochoa, B., Ferguson, C., Kampichler y Pozo, C., (2012). Ensamble de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(2): 237-269.
- Gutiérrez, M.M., Vega-Araya, M. y Calderón, J.E. (2024). Conceptualización para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza en los Corredores Biológicos Interurbanos. https://www.interlaceproject.eu/sites/default/files/202408/Impulse_Papers_CBIMA%20Final%2020-8_Spanish.pdf
- Herrando, S., Weiserbs, A., Quesada, J., Ferrer X. y Paquet J.–Y. (2012). Development of urban bird indicators using data from monitoring schemes in two large European cities. *Animal Biodiversity and Conservation*, 35.1: 141–150.
- Jiménez, E., Araya, F., Acosta, V., y Gutiérrez, S. (2018). Inventarios Biológicos del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar y Propuesta de un Listado de Plantas Nativas para Incorporación y Reproducción. Proyecto “Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción de Costa Rica” (Proyecto Paisajes Productivos). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Consultor: M.Sc. José Esteban Jiménez. San José, Costa Rica. 27 de noviembre del 2018.

- Jin, J., y Wang, C. (2025). How vegetation structure shapes the soundscape: Acoustic community partitioning and its implications for urban forestry management. *Forests*, 16(4), 669. <https://doi.org/10.3390/f16040669>
- Juárez, R., Ruiz-Gutiérrez, V., y Sandoval, L. (2022). The case of a year-round territorial bird in the Neotropics: *Melospiza leucotis* across an urban–rural gradient. *Journal of Urban Ecology*, 8(1), juac006. <https://doi.org/10.1093/jue/juac006>
- Juárez, R., Chacón-Madrigal, E. y Sandoval, L. (2020). Urbanization has opposite effects on the territory size of two passerine birds. *Avian Research*. <https://doi.org/10.1186/s40657-020-00198-6>
- Juárez, R., Ruiz-Gutiérrez, V. y Sandoval, L. (2022). Surviving in cities: the case of a year-round territorial bird in the Neotropics. *Journal of Urban Ecology*, 8 (1), juac006. <https://doi.org/10.1093/jue/juac006>
- Kearney, M., Shine, R., y Porter, W. (2009). The potential for behavioral thermoregulation to buffer “cold-blooded” animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(10), 3835-3840. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808913106>
- Kluza, D.A., Griffin, C.R., y DeGraaf, R.M. (1999). Housing developments in rural New England: effects on forest birds. *Animal Conservation* 3(1): 15-26.
- Laporte, G. y G. Porras. (2002). Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. En: VIII Seminario Nacional de Geotecnia, III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas, Costa Rica. 18 p.
- López, J., Stiles, F.G., y Parra, J. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en aves. Pp. 80–125, in Salgado-Negret, B. (Ed.). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 234 pp.
- Luck, G.W., Lavorel, S., McIntyre, S., y Lumb, K. (2012). Improving the application of

- vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. *Journal of Animal Ecology*, 81(5): 1065–1076.
- Mansor, M. S., Rozali, F. Z., Abdullah, N. A., Nor, S. M., y Ramli, R. (2019). How important is aerial leaf litter for insectivorous birds foraging in a Malaysian tropical forest? *Global Ecology and Conservation*, 20, e00722. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00722>
- Mc Queen B, J. K. (2020). Caracterización de la avifauna y la vegetación ribereña de la microcuenca del río Bermúdez, como insumo en la formulación de estrategias de manejo que propicien la conectividad de un Corredor Biológico Interurbano para la ciudad de Heredia, Costa Rica.
- Martínez-Baldares, T. (2012). Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica: avances y desafíos. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 5(9): 70-87.
- Melles, S., Glenn, S., y Martin, K. (2003). Urban bird diversity and landscape complexity: species–environment associations along a multiscale habitat gradient. *Conservation Ecology*, 7(1).
- Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R., y Gajardo, J. (2011). Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. *Ciência Florestal*, 21, 521-531
- MINAE-GEF-PNUD (2019). Diagnóstico multidimensional del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – Proyecto Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción en Costa Rica. Costa Rica.
- Miranda, Q.M., Moya, A.A., Mata, M.A., Martínez, G.A., Lobo, C.A., Padilla, S.C., Ballesteros, J.F., Rodríguez, G.F., Acuña, P.F., Acuña, R.J., Calvo, V.J., Gamboa, A.N., Rojas, F.M., Chinchilla, A.M., Salazar, B.R., Valentinuzzi, N.S., y Richmond, B.S. (2022). Informe de línea base Proyecto TEVU 2022. Pp. 6-75.

- Miranda, Q.M., Estrada, S.J., Calvo, V.J., Vargas, F.E., Picado, B.J., Rojas, D.M., Lizano, C.A., y Espinoza, B.M. (2022). Guía de especies indicadoras CBIMA. Pp 19.
- Morera, C. y Sandoval, L. (2021). Ecological corridors in Costa Rica: An evaluation applying landscape structure, fragmentation–connectivity process, and climate adaptation. *Conservation Science and Practice*, 3(2), e475.
- Montero-Muñoz, J. y Saenz, J. (2007). Riqueza, Abundancia y Diversidad de Murcielagos en Diferentes Hábitats y su Relación con la Forma y Tamaño de los Fragmentos en una Zona de Bosque Seco Tropical en Costa Rica. Capítulo 15. Parte IV. Estudio de Taxones Individuales en Paisajes Fragmentados. Libro. Evaluación y Conservación de Biodiversidad en Paisajes Fragmentados de Mesoamérica. Harvey, C & Saenz, J. Santa Domingo de Heredia, Costa Rica. Insituto Nacional de–INBio.
- Muñoz-Pedreros, A., González-Urrutia, M., Encina-Montoya, F., y Norambuena, H.V. (2018). Effects of vegetation strata and human disturbance on bird diversity in green areas in a city in southern Chile. *Avian Research* 9(1):1-15.
- McCain, C. M. (2007). Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00275.x>
- Oklahoma State University. (2015), Canopeo (1.1.7) [Aplicación móvil]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=okstate.edu.canopeo&hl=es_CR&gl=US
- Ortega-Álvarez, R., L.A. Sánchez-González, H. Berlanga, V. Rodríguez-Contreras y V. Vargas. (2012). Manual para monitores comunitarios de aves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Corredor Biológico Mesoamericano-México. México.
- Opdam, P., Steingröver, E., y Rooij, S. van. (2006). Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3), 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.015>

- Pardini, R., Nichols, E., y Püttker, T. (2017). Biodiversity response to habitat loss and fragmentation. En: Dellasala, D.A., Goldstein, M.I. (eds.), *Encyclopedia of the Anthropocene*, pp. 229-239. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos.
- Peris, S., y Montelongo, T. (2014). Birds and small urban parks: A study in a high plateau city. *Turkish Journal of Zoology*, 38(3), 316–325.
- Peterson, A.T., S. Menon y X. Li. (2010). Recent advances in the climate change biology literature: describing the whole elephant. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1(4):548-555.
- Pimenta, S. M., Peña, A. P., y Gomes, P. S. (2009). Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde—Goiás. *Sociedade & Natureza*, 21(3), 393-412. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000300013>
- Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana (PRUGAM), (2015). Análisis del territorio periurbano, actividades ecoturísticas y paisaje de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Informe final. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Quesada-Acuña, S.G., Martínez, C.P., Alán, O.R., y Gastezzi-Arias, P. (2018). Dispersión de semillas por aves residentes en bosque ribereño urbano del río Torres, San José, Costa Rica. *Revista de Investigación UNED*, 10.
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ralph, C.J., Geupal, G.R, Pyle, O., Martin, T.E, Desante, D.F., Milá, B., John, C., Geoffrey R., Thomas, E., David, F. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Retamosa Izaguirre, M. I., Segura Sequeira, D., Barrantes Madrigal, J., Spínola Parallada, M.,

- y Ramírez Alán, O. (2021). Caracterización de la vegetación, aves y paisajes sonoros: un caso de estudio en el Parque Nacional Braulio Carrillo, Costa Rica. *Biota Colombiana*, 22(1), 57–73. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a04>
- Rosales-Maroto, L. (2012). Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana 2011 – 2030. Documento técnico del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.
- Romero-Vargas, M., Bermúdez-Rojas, T., Duran-Apuy, A. y Alfaro-Sánchez, M. (2018). Estrategia de manejo para las áreas de protección y áreas verdes en la microcuenca del río Bermúdez y sus afluentes Pirro-Quebrada Seca-Burío, como contribución a la gestión ambiental del ecosistema urbano presente en el río Grande de Tárcoles.
- Rodríguez-Saénz, K., Vega-Guillén, S., Menacho-Odio, R., Vásquez-Acosta, D. (2022). Riqueza de aves en un área verde urbana dentro del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Costa Rica. *Zeledonia*, 26(2), 14-25.
- Rodríguez-Bardía, M., Cueva, L., y Juárez, R. (2022). Estructura genética en aves neotropicales con diferentes niveles de resiliencia a la urbanización. *Scientific Reports*, 12(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09961-9>
- Savarino-Drago, A., Aguilar-Gómez, M.A. y Rodríguez-Contreras, V. (2020). Manual Ilustrado para el Monitoreo de Aves. PROALAS: Programa de América Latina para las Aves Silvestres. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad /Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América, México y Laboratorio de Ornitología de Cornell Ciudad de México e Ithaca N. Y. 104 pp.
- Sadoti, G. (2012). Nesting Ecology of Common Black-Hawks in relation to landscape features. *J Raptor Res.* 46 (3): 293-303.
- Salinas, E., y Pérez, L. (2011). Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción: transformaciones morfológicas y tipologías de ocupación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 49, 79–97.
- Sandoval, L., y Mennill, D.J. (2012). Biología reproductiva del gorrión orejiblanco

- (*Melospiza leucotis*), con descripción de un nuevo tipo de nido. *Ornitología Neotropical*, 23, 225-234.
- Sandoval, L., Bitton, P.P., Doucet, S.M., y Mennill, D.J. (2014). Analysis of plumage, morphology, and voice reveals species-level differences between two subspecies of Prevost's Ground-sparrow *Melospiza biarcuata* (Prévost and Des Murs) (Aves: Emberizidae). *Zootaxa*, 3895, 103-116.
- Sandoval, L., Dabelsteen, T., y Mennill, D.J. (2015). Características de transmisión de cantos solistas y duetos en un ave especialista en hábitat de matorral neotropical. *Bioacústica*, 24 (3), 289-306.
- Sandoval, L., Morales, C.O., Ramírez-Fernández, J.D., Hanson, P., Murillo-Hiller, R., y Barrantes, G. (2019). The forgotten habitats in conservation: early successional vegetation. *Revista de Biología Tropical*, 67, 36-52.
- Sánchez, J. E., J. Criado, C. Sánchez, y L. Sandoval. (2009). Costa Rica. Pp. 149–156 in Devenish, C., D. F. Díaz Fernández, R. P. Clay, I. J. Davison, y I. Yépez Zabala (eds). Important Bird Areas of Americas: priority sites for biodiversity conservation. BirdLife International, Cambridge, UK.
- Sánchez, M.H.A. (2020). Abundancia, distribución y riqueza de la avifauna como bioindicador de salud ambiental en la microcuenca del río Pisloy (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).
- Sekercioglu, C.H., G.C. Daily y P.R. Ehrlich. (2004). Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:18042-18047.
- Silva, C.P., Sepúlveda, R.D., y Barbosa, O. (2016) Nonrandom filtering effect on birds: species and guilds response to urbanization. *Ecology and Evolution* 6(11):3711– 3720. doi:10.1002/ece3.2144
- Solano-Monge, F. (2017). Proposal of Environmental Zoning for the María Aguilar River

- Inter-city Wildlife Corridor, Costa Rica. *Tropical Journal of Environmental Sciences*, 51(1), 33-50. <https://doi.org/10.15359/rca.51-1.3>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2018). Plan estratégico 2018-2025 del Programa Nacional de Corredores Biológicos, Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía. https://enbcr.go.cr/sites/default/files/sinac_2018_planestrategico_programa_nacional_de_corredores_biologicos_costa_rica.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Shen, F. Y. et al. (2025). Species distribution model performance improves when land-cover and habitat variables are incorporated.
- Stewart, J. y Mallik, A. (2006). Bryophyte Responses To Microclimatic Edge Effects Across Riparian Buffers. *Ecological Applications* 16,1474–1486.
- Stratford, J. A. y Stouffer, P. C. (1999). Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in a fragmented landscape near Manaus, Brazil. *Conserv. Biol.* 13, 1416–1423.
- Strohbach, M. W., Haase, D., y Kabisch, N. (2009). Birds and the city: Urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and Society*, 14(2), 31. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art31/>
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M.S., y Rödiger, E. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature* 554:519-522.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. De Siqueira, A. Grainger y L. Hannah. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148
- Trujillo-Acosta, A., Peraza-Estrella, M. J., Marina-Hipólito, J. G., y Boraschi, S. F. (2017). Evaluación del Corredor Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 53.
- Tovar, G. (2019). Manejo de la avifauna como parte de la gestión del arbolado urbano en

Bogotá DC. Territorios, 7(40), 83-117.

Turner, M. G., Pearson, S. M., Bolstad, y P., Wear, D. N. (2003) Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA). *Landscape Ecology*, 18 (5), 449–464.
<https://doi.org/10.1023/A:1026033116193>

UICN, 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. Available at: www.iucnredlist.org.

Villaseñor, E., y Santana, E. (2019). Factores ambientales que determinan la presencia de aves en ambientes urbanos de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902731. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2731>

Woodin, S. A., Hilbish, T. J., Helmuth, B., Jones, S. J., y Wetthey, D. S. (2013). Climate change, species distribution models, and physiological performance metrics: predicting when biogeographic models are likely to fail. *Ecology and Evolution*, 3(10), 3334-3346.