

**DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL NOCTURNA
SOBRE EL ENSAMBLE DE LAS AVES NOCTURNAS DE LA RESERVA DISTRITAL
HUMEDAL “SANTA MARÍA” DEL LAGO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

CAMILO JOSÉ PATIÑO RODRIGUEZ

**Proyecto integral de grado para obtener el título de:
Magíster en Gestión Ambiental para la Competitividad**

Orientador

Carolina Torres Galeano

Magíster en Gestión Ambiental y Auditorías

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD

BOGOTÁ

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Carolina Torres Galeano

DIRECTOR

Alba Cristina Ortiz

JURADO 1

Javier Alexander Mancera

JURADO 2

Bogotá D.C. Agosto de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector administrativo y financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden a sus autores.

DEDICATORIA

A Emilia y Deyanira.

CAMILO PATIÑO RODRIGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mi hija por su amor incondicional, a la empresa OSAIC S.A.S. por facilitarme los equipos de medición para el estudio, a la Secretaría Distrital de Ambiente y sus funcionarios encargados del humedal “Santa María del Lago” por su disposición y apoyo a esta investigación, a la Bióloga Carolina Torres Galeano por su profesional y valiosa guía para la formulación de esta tesis, al Biólogo Nicolas Otalora y al Licenciado Emilio Pardo Malagón por su asertiva orientación metodológica y lingüística, a la ingeniera Lady Zamora por su apoyo y acompañamiento en la fase de campo y a mis docentes de pregrado y posgrado quienes aportaron la base del conocimiento para producir las ideas de este trabajo.

CAMILO PATIÑO RODRIGUEZ

RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
1 ANTECEDENTES	13
1.1 Iluminación artificial nocturna	13
1.2 Impactos de la iluminación artificial nocturna en la biodiversidad	14
1.2.1 Cambios en la producción primaria	14
1.2.2 Filtro ambiental de especies	15
1.2.3 Cambios en la distribución de especies y alteraciones en la disponibilidad de recursos	15
1.2.4 Cambio de roles y nichos funcionales por la afectación de los patrones de actividad y la detectabilidad de presas.	15
1.3 Impactos de ALAN en las Aves	16
1.4 Ecología de las Aves Nocturnas	16
1.5 Importancia de los humedales para la ciudad de Bogotá	18
1.6 Referentes legales, normativos y científicos sobre niveles de iluminación para ecosistemas, coberturas de la tierra o especies de fauna	19
2 OBJETIVOS	26
2.1 Objetivo General	26
2.1.1 Objetivos específicos	26
3 METODOLOGÍA.....	27
3.1 Localización del proyecto	27
3.2 Materiales y Equipos	28
3.3 Métodos de análisis documental y experimental	28
3.3.1 Etapa 1. Cambios en las dinámicas de nicho en las especies de aves nocturnas presentes en el la RDH “Santa María del Lago”	29
3.3.1.a. Revisión de información secundaria	29
3.3.1.b. Levantamiento de información primaria de especies en campo.	29
3.3.1.c. Revisión de referentes legales, normativos y científicos sobre niveles de iluminación para ecosistemas, coberturas vegetales o especies de fauna.....	30
3.3.1.d. Medición de niveles de iluminación en la RDH “Santa María del Lago”.....	31
3.3.1.e. Revisión de información sobre la ecología de especies de aves nocturnas presentes en la RDH “Santa María del Lago” y validación de los cambios en sus dinámicas de nicho. ..	32
3.3.2 Etapa 2. Análisis de correlación entre las variables riqueza de especies, cobertura terrestre y ALAN.	33

3.3.3	Etapa 3. Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”.....	34
4	RESULTADOS	35
4.1	Resultados de la Etapa 1. Cambios en las dinámicas de nicho en las especies de aves nocturnas presentes en el la RDH “Santa María del Lago”.....	35
4.1.1	Resultados de la revisión de información secundaria.	35
4.1.1.a.	Resultados de la revisión de bases de datos de biodiversidad.	35
4.1.1.b.	Resultados de la revisión de documentada oficial de la SDA.	36
4.1.1.c.	Evidencias testimoniales de riqueza aportadas por los funcionarios de la SDA.	37
4.1.2	Resultados del levantamiento de información primaria de especies en campo. ...	38
4.1.3	Resultados de Medición de niveles de iluminación en la RDH “Santa María del Lago”. 39	
4.1.4	Descripción de los cambios en la ecología de la avifauna expuesta a los niveles de iluminancia medidos en el humedal	41
4.2	Resultados de la Etapa 2. Correlación entre ALAN y la Riqueza de Aves Nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”.....	43
4.2.1	Prueba de distribución de los datos de iluminancia.	43
4.2.2	Análisis de correlación entre las variables cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas.	44
4.3	Resultados de la etapa 3 Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”.	47
5	DISCUSIÓN	52
5.1	Cambios en las dinámicas de nicho de la avifauna nocturna de la RDH “Santa María del Lago”.	52
5.2	Correlación entre la riqueza de aves nocturnas y los niveles de iluminación medidos. 53	
5.3	Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”.....	54
6	CONCLUSIONES.....	56
6.1	Cambios en las dinámicas de nicho de la avifauna nocturna de la RDH “Santa María del Lago”.	56
6.2	Análisis de correlación entre las variables cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas.57	
6.3	Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”.....	58
	REFERENCIAS.....	59
	ANEXOS.....	65

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio de la RDH Santa María del Lago.	27
Figura 2. Distribución de cuadrículas y USC.	30
Figura 3. Coberturas de la reserva distrital de humedal (RDH).	32
Figura 4. Iluminancia promedio medida asociada las UCS entre tramos de las fuentes de iluminación.	40
Figura 5. Iluminancia promedio de las coberturas terrestres asociadas a las UCS.	41
Figura 6. Localización de los registros vocales obtenidos en las UCS.	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Grupos taxonómicos de las aves nocturnas de Colombia.	17
Tabla 2. Especies de aves nocturnas reportadas con base en la guía de aviturismo de Bogotá....	18
Tabla 3. Normatividad ambiental colombiana relacionada con el uso eficiente de la energía y la contaminación lumínica.	19
Tabla 4. Listado de estudios y normas relacionados con la importancia de las aves, ecología de aves nocturnas y contaminación lumínica.	22
Tabla 5. Niveles de iluminancia mínimos requeridos que afectan a diferentes grupos de fauna.	25
Tabla 6. Especies de aves nocturnas reportadas en base de datos eBird presentes en la RDH Santa María del lago.	35
Tabla 7. Especies de aves nocturnas reportadas en base de datos iNaturalist Colombia presentes en la RDH Santa María del lago.	35
Tabla 8. Distribución de las coberturas de la REDH Santa María del lago.	36
Tabla 9. Reportes de la presencia de aves nocturnas por parte de los funcionarios de la SDA encargados la RDH Santa María del Lago.	37
Tabla 10. UCS establecidas por cobertura de la tierra presentes en la RDH “Santa Maria del Lago”.	38
Tabla 11. Valores de referencia para la significancia asociada a una distribución normal y de Kolmogorov-Smirnov en tablas.	44
Tabla 12. Matriz de resultados observados.	44
Tabla 13. Matriz de resultados esperados.	45
Tabla 14. Resultados del análisis de regresión multivariado binario entre la iluminancia, cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”.	46
Tabla 15. Resultados del análisis de regresión multivariado entre la iluminancia, cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”.	46
Tabla 16. Instrumentos de Política Ambiental en Colombia.	47
Tabla 17. <i>Evaluación de Impacto y Probabilidad de Implementación.</i>	48
Tabla 18. Evaluación de Amenazas a Aves de Humedales Interiores y Urbanos.	49
Tabla 19. Medidas de Manejo para la Gestión de los Impactos de ALAN.	50
Tabla 20. Comparación de Iluminancia Medida con Requisitos Legales, Normativos y Científicos en Diferentes Categorías Ecológicas y Taxonómicas.	66
Tabla 21. Registros de Campo de Especies de Aves Nocturnas por Fecha y Tipo de Observación.	67
Tabla 22. Parámetros Estadísticos de Iluminancia por Tipo de Cobertura.	68
Tabla 23. Resultados de la Prueba de Normalidad Kolmogorov-Smirnov para Datos Agrupados.	69
Tabla 24. Valores Registrados por Tramos y Unidades de Control (UCS) en Diferentes Intervalos.	72
Tabla 25. Evaluación de Iluminancia por Tramos y Unidades de Control: Promedio, Máximo, Mínimo y Relación Umin/Uprom.	73

RESUMEN

El crecimiento de las ciudades genera una mayor demanda de iluminación artificial nocturna (ALAN por sus siglas en inglés), la cual afecta negativamente a los ecosistemas naturales presentes en las ciudades, especialmente a la avifauna nocturna.

El objetivo de esta investigación fue diagnosticar el impacto de ALAN sobre el ensamble de aves nocturnas presentes en la reserva distrital de humedal “Santa María del Lago”.

Para lo cual se realizó la evaluación de la riqueza de estas aves, mediante la revisión de información secundaria disponible de fuentes oficiales, bases de datos de biodiversidad y censos de avifauna con el método de unidades de censo (UCS) en una muestra representativa de las coberturas terrestres del humedal, así mismo, se midieron los niveles de iluminancia a través de luxometrías, se describieron los cambios en la ecología de las especies identificadas y la relación entre las variables analizadas mediante una prueba de Chi cuadrado y un análisis de regresión multivariada binaria; por último se realizó la revisión y evaluación de estrategias o medidas de manejo para gestionar este impacto.

De la revisión de información secundaria se obtuvo una riqueza promedio 4.6 especies, mientras que en los censos se obtuvieron registros vocales de una sola especie (*Megascops choliba*), la iluminancia promedio medida en las coberturas terrestres del humedal fue 10.45 lx y 6,34 lx en la muestra de UCS, niveles que afectarían negativamente las dinámicas de nicho de los Strigiformes, la prueba de Chi cuadrado demostró que no había relación entre las coberturas terrestres y la riqueza, en cambio la regresión multivariada binaria si mostro una relación entre las coberturas terrestres y la iluminancia, por último se identificaron y evaluaron 12 estrategias para gestionar el impacto entre las que se destacan la formulación de instrumentos de política pública y de ordenamiento territorial para gestionar los impactos de ALAN.

PALABRAS CLAVE: impacto, ALAN, iluminancia, aves nocturnas, humedal

INTRODUCCIÓN

Varios estudios demuestran que la contaminación lumínica genera diferentes impactos en el ambiente, especialmente la alteración de los ciclos biológicos en las comunidades de fauna (Solano Lamphar, *et al.*, 2017). Sin embargo, los sistemas de alumbrado público y privado están diseñados y construidos para resolver la demanda de iluminación requerida por los usuarios. Por tal razón en la mayoría de los casos no se considera si estos sistemas pueden afectar a los ecosistemas expuestos a ellos.

Actualmente, en Colombia no existe una norma que reglamente el impacto de este fenómeno en los ecosistemas. Si bien, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, establece algunos lineamientos relacionados con la contaminación lumínica, este no define cuales deben ser los valores límites permisibles de flujo luminoso emitido por las instalaciones de iluminación y alumbrado público para no generar afectaciones en las interacciones del ecosistema.

Las aves desempeñan un papel crucial en los ecosistemas, al controlar las poblaciones de otros grupos como insectos y roedores. Además, algunas especies tienen hábitos diurnos y nocturnos, especialmente los Strigiformes y Caprimulgiformes.

La presente investigación tiene como propósito diagnosticar el impacto ambiental que genera la emisión de luz artificial sobre las comunidades de aves nocturnas que habitan o pernoctan en el Parque Ecológico Distrital Humedal Santa María del Lago de la Ciudad de Bogotá. Se analizaron los cambios en la ecología y se estudió la correlación entre la riqueza de especies de aves nocturnas y los niveles de iluminancia a los que están expuestos.

1 ANTECEDENTES

1.1 Iluminación artificial nocturna

La Iluminación Artificial Nocturna (ALAN, por sus siglas en inglés, *Artificial Light At Night*) es consecuencia del rápido crecimiento urbano, los avances tecnológicos y los cambios socioculturales. Este fenómeno responde a la creciente demanda de sus habitantes por los servicios de iluminación y alumbrado público, cuyo uso excesivo o inapropiado genera el fenómeno de la contaminación lumínica, la cual tiene diferentes efectos adversos en la biodiversidad, el bienestar y la salud humana (Negro, 2016).

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) define la contaminación lumínica como la “suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial”, Por esta razón, el interés creciente de las ciencias por estudiar la ALAN y sus diversos impactos tales como la contaminación lumínica (Mander, *et al.*, 2023).

Existen diferentes formas en que ALAN puede generar contaminación lumínica tales como el resplandor o brillo del cielo (*skyglow*), la luz directa emitida por fuera del área objeto de diseño (*spill light*), el deslumbramiento, la luz reflejada desde superficies expuestas a ALAN (Rueda Punina, 2022).

La mayor parte de las investigaciones sobre contaminación lumínica se han centrado en el resplandor del cielo (*skyglow*) debido a su impacto significativo en las observaciones astronómicas. Sin embargo, la luz en dirección descendente en forma de luz derramada (*spill light*) o deslumbramiento es la que genera los efectos adversos sobre la biodiversidad y la salud humana (Mander, *et al.*, 2023).

Hay muchas variables y unidades para medir la luz emitida por una fuente (Mander, *et al.*, 2023). Entre las más reconocidas están la iluminancia que, según el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), se define como “Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx)”. También está la luminancia, que se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada, producida por un elemento de la superficie que rodea el punto y el área de la proyección ortogonal del elemento de

superficie sobre un plano perpendicular en esa dirección. La unidad de luminancia es la candela por metro cuadrado (Cd/m²) (Ministerio de Minas y Energía, 2010):

Si bien los impactos de ALAN pueden ser percibidos por el ojo humano, es necesario cuantificarlos mediante la medición de los niveles de iluminación o fotometría, que se define como “la medición de cantidades asociadas con la luz”. Para esto, se requirió un fotómetro, equipo con el cual se mide cantidades fotométricas tales como: iluminancia, intensidad luminosa, flujo luminoso o luminancia (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

1.2 Impactos de la iluminación artificial nocturna en la biodiversidad

La contaminación lumínica generada por ALAN produce diversos impactos en los ecosistemas, especialmente en las áreas naturales o seminaturales asociadas a las grandes ciudades, Los más estudiados están relacionados con (i) cambios en la producción primaria y otras alteraciones en las plantas (ii) filtro ambiental de especies (iii) cambios en la distribución de especies y alteraciones en la disponibilidad de recursos, y (iv) cambio de roles y nichos funcionales debido a la afectación de los patrones de actividad y la detectabilidad de presas (Sanders, *et al.*, 2023).

1.2.1 Cambios en la producción primaria

La exposición de la flora terrestre y acuática a ALAN puede generar cambios en su fenología, biomasa y estructura. Las plantas responden a la exposición a la luz alterando el fototropismo y los patrones de crecimiento, lo cual puede modificar estructuras como flores y tallos. Estos cambios desencadenan diversos efectos en la red trófica y el comportamiento de los polinizadores (Sanders, *et al.*, 2023).

1.2.2 Filtro ambiental de especies

La presencia de luz artificial puede afectar negativamente a especies, mientras que incrementa la actividad de las especies con hábitos diurnos, disminuye la actividad de aquellas con hábitos nocturnos. Estas nuevas condiciones ambientales afectan a las especies más sensibles, lo cual deriva en la reestructuración de las comunidades presentes en el ecosistema. Puede generar desequilibrios en las dinámicas del ecosistema, y posteriormente un cambio en su composición y estructura a largo plazo. (Sanders, *et al.*, 2023).

1.2.3 Cambios en la distribución de especies y alteraciones en la disponibilidad de recursos

La fototaxia (atracción o evitación de las especies por las fuentes de luz) afecta la distribución de las especies en los ecosistemas, que genera cambios en las dinámicas entre ellas. Un ejemplo común es la atracción de los insectos hacia las fuentes de luz en las zonas urbanas y rurales, lo cual altera el comportamiento de algunos depredadores de los insectos como los arácnidos o los murciélagos, que se desplazan cerca de las zonas iluminadas para llevar a cabo su actividad de forrajeo. Tanto la fototaxia positiva como negativa cambian las tasas de encuentro entre depredador y presa, así como la estructura trófica en áreas iluminadas artificialmente, y también afecta otras dinámicas como la polinización nocturna (Sanders, *et al.*, 2023).

1.2.4 Cambio de roles y nichos funcionales por la afectación de los patrones de actividad y la detectabilidad de presas

La respuesta de las especies a la exposición a ALAN puede modificar sus nichos en el ecosistema. Un ejemplo son las especies diurnas y crepusculares que incrementan su horario de actividad en la noche, como es el caso de los peces expuestos a ALAN que incrementan su actividad depredadora perjudicando a las especies sésiles nocturnas. Además, la alteración de los patrones de detectabilidad entre presas y depredadores puede beneficiar algunas especies que depredan gracias a su capacidad visual, pero afectan a aquellas que lo hacen a través de patrones bioquímicos o térmicos. Esto puede introducir nuevos competidores en la red trófica en el

ecosistema nocturno. Adicionalmente, las especies presa que se sienten atraídas por la luz artificial inhiben sus mecanismos de detección de predadores haciéndolas más vulnerables de lo habitual (Sanders, *et al.*, 2023).

1.3 Impactos de ALAN en las Aves

Debido al conocimiento técnico y científico de este grupo de vertebrados, así como de su función ecológica, se han llevado a cabo numerosos estudios de los impactos del ALAN tiene en las aves en diferentes escalas de tiempo.

El impacto por las colisiones con infraestructura iluminada en las aves, que se sienten atraídas por estas fuentes, ha sido estudiado en varios países del mundo. En Alemania (Korner, *et al.*, 2022) investigaron durante seis temporadas de otoño consecutivas las aves que se sintieron atraídas por un edificio iluminado denominado "Torre de Correos" de 41 pisos ubicada en la ciudad Bonn. En Chile, las investigaciones han registrado que cantidad de especímenes muertos de una sola especie llega a 166 individuos de Pollito de mar rojizo (*Phalaropus fulicarius*) (Silva, *et al.*, 2019).

Los cambios en el comportamiento y los ciclos circadianos son quizás uno de los efectos más estudiados, puesto que afectan las dinámicas de varias especies de hábitos diurnos y nocturnos (Alaasam, *et al.*, 2022). La exposición a la ALAN afecta negativamente las dinámicas y el comportamiento en la migración de las aves a escala local, regional e incluso intercontinental (Burt, *et al.*, 2023).

Varios estudios refieren que niveles muy bajos de iluminancia (inferiores a 0.1 Lx) afectan las dinámicas de depredación de las rapaces nocturnas, así como las dinámicas de interacción de otros órdenes más generalistas como los paseriformes (García Gil, *et al.*, 2018).

1.4 Ecología de las Aves Nocturnas

Las aves nocturnas han evolucionado para tener éxito en condiciones de poca luz, lo que las ha dotado con aparatos visuales y auditivos más desarrollados como en el caso de los Strigiformes

(búhos y lechuzas) o rapaces nocturnos. Estas aves desempeñan un papel fundamental en el equilibrio y control poblacional de especies potencialmente plagas, como los roedores o algunas especies de insectos, al actuar como depredadores de alto nivel. Su presencia puede ser considerada como un indicador de calidad en los ecosistemas (Marín Gómez, *et al.*, 2020). Sin embargo, son los hábitos nocturnos los que las hacen tan difíciles de estudiar (Chaparro Herrera, *et al.*, 2021).

Colombia es el país con mayor diversidad de aves en el mundo, en 2022 se habían registrado en el país 1966 especies, pertenecientes a 29 órdenes (Echeverry Galvis *et al.*, 2022). De los cuales solo 2 de estos corresponden a las aves de nocturnas y cuya composición se describe en la Tabla 1.

Los Strigiformes han sido el orden más estudiado por los ornitólogos en el país. Sin embargo, el conocimiento biológico y ecológico de este grupo es limitado puesto que solo se tiene información importante de 2 de las 28 especies registradas en Colombia (Chaparro Herrera, *et al.*, 2021). Para el caso de los Caprimulgiformes la información de la ecología de estas especies es aún más escasa. Sin embargo, los estudios destacan su importancia como indicadores biológicos y la importancia de su nicho ecológico en el ecosistema, también concluyen sobre la necesidad de promover más investigaciones sobre estas aves (Souto Días y MachadoTeixeira, 2022).

Tabla 1.
Grupos taxonómicos de las aves nocturnas de Colombia.

Orden	Familia	Descripción general	Riqueza de especies en Colombia
<i>Strigiformes</i>	<i>Tytonidae</i>	Lechuzas (Rapaces nocturnas)	1
	<i>Strigidae</i>	Búhos y Autillos (Rapaces nocturnas)	27
<i>Caprimulgiformes</i>	<i>Staethornithidae</i>	Guacharos (Omnívoros, única especie nocturna gregaria)	1
	<i>Caprimulgidae</i>	Guardacaminos y Chotacabras (Insectívoros nocturnos)	22
	<i>Nyctibiidae</i>	Bienparados (Insectívoros nocturnos)	5

Nota: Tomado de Chaparro Herrera, S., Enríquez, P. L., y Lopera Salazar, A. (2021). La tabla muestra aves nocturnas en Colombia: 1 especie de lechuza (*Tytonidae*), 27 especies de búhos (*Strigidae*), 1 especie de guácharo (*Staethornithidae*), 22 especies de guardacaminos (*Caprimulgidae*), y 5 especies de bienparados (*Nyctibiidae*).

Para el caso de la ciudad de Bogotá, la Asociación Bogotana de Ornitología (ABO) formuló la “Guía de Aviturismo de Bogotá” (Moreno Salazar. *et al.*, 2019) según la cual en la ciudad están registrada 9 especies de aves nocturnas (Tabla 2).

Tabla 2.

Especies de aves nocturnas reportadas con base en la guía de aviturismo de Bogotá.

Orden	Familia	Especie
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Chordeiles minor</i>
		<i>Antrostomus carolinensis</i>
		<i>Systellura longirostris</i>
Strigiformes	Tytonidae	<i>Tyto furcata</i>
	Strigidae	<i>Asio clamator</i>
		<i>Asio flameus</i>
		<i>Glaucidium jardi</i>
		<i>Megascops choliba</i>
	<i>Asio stygius</i>	

Nota: Adaptado de Moreno Salazar. *et al.* (2019). La tabla presenta especies de aves nocturnas distribuidas en los órdenes Caprimulgiformes y Strigiformes.

1.5 Importancia de los humedales para la ciudad de Bogotá

En Colombia los humedales son considerados como ecosistemas estratégicos y se definen como cuerpos de agua permanente o estacional de escasa profundidad, rodeados por una franja que puede cubrirse por inundaciones periódicas. Estos ecosistemas albergan zonas húmedas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes en suelos urbanos, de expansión urbana y rural (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

La ciudad de Bogotá cuenta con 17 humedales, los cuales fueron declarados Reservas Distritales de Humedal (RDH) debido a su importancia. Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá estas áreas están definidas geográficamente y contribuyen a la conservación del hábitat de especies y sus poblaciones. Los RDH se constituyen como una unidad ecológica de manejo, compuesta por la franja acuática, litoral y terrestre, reconociéndose como sistemas socio-ecológicos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Así mismo, 11 de las RDH fueron categorizadas como Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (ICAS) y Humedales Ramsar. Estos humedales proporcionan refugio y hábitat a especies endémicas de la región Altoandina de Colombia como la Tingua Bogotana (*Rallus semiplumbeus*) y el Cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinari*). Se han registrado 196 especies de aves, 42 de ellas son especies acuáticas y 65 corresponden a especies migratorias.

Este complejo de Humedales actúa como regulador hídrico de los ríos de la sabana de Bogotá en temporada de lluvias, controlando las inundaciones, y en época seca conservando el nivel freático de los suelos. Constituye el principal conector ecológico del territorio urbano y rural de la cuenca del río Bogotá y atraviesa la ciudad de oriente a occidente. Por estos motivos, es reconocido como el primer complejo urbano de Humedales Altoandinos de Latinoamérica designado en el Listado de Humedales de Importancia Internacional.

1.6 Referentes legales, normativos y científicos sobre niveles de iluminación para ecosistemas, coberturas de la tierra o especies de fauna

Se revisaron 25 referentes legales nacionales y normativos relacionados con iluminancia, contaminación lumínica o eficiencia energética. Entre ellos se destaca el Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público (RETILAP), adoptado mediante la Resolución 181331 de 2009 del Ministerio de Minas y Energía, y complementado con el anexo técnico de la Resolución 180540 de 2010 emitida por este mismo ministerio. Este reglamento tiene como objetivo, según su literal d, “establecer las condiciones para evitar alteraciones en los ciclos naturales de animales causada por desperdicio en iluminación intrusiva continua en su hábitat”. Define límites de iluminancia para diferentes tipos de instalaciones, aunque no contempla límites para áreas naturales o ecosistemas (Tabla 3).

Tabla 3.

Normatividad ambiental colombiana relacionada con el uso eficiente de la energía y la contaminación lumínica.

Norma	¿De qué trata?
Decreto – Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Norma	¿De qué trata?
Ley 9 de 1979	Establece el código sanitario, en esta ley se definen los primeros lineamientos relacionados con límites permisibles de sustancias y energías enfocados en la protección de la salud humana.
Decreto 2 de 1982	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.
Constitución política de 1991	Denominada la constitución ecológica, establece en su artículo 8 que “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”, así mismo en su artículo 80 define “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas”
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 143 de 1994	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional.
Ley 165 de 1994	Ratifica Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro.
Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.
Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
Ley 697 de 2001	Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones
Decreto 3683 de 2003	Reglamenta la ley 697 de 2001 en lo relacionado con el uso racional y eficiente de energía y la promoción del uso de fuentes alternativas de energía
Decreto 2424 de 2006	Reglamenta la prestación del servicio de alumbrado público en el país
Decreto 2501 de 2007	Define las disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de la energía eléctrica
Resolución 180540 de 2010	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado público RETILAP
Decreto 1076 de 2015 Ministerio de Ambiente.	Decreto único del sector medio ambiente
Decreto 298 de 2016,	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones
Resolución 2254 de 2017 Ministerio de	Por el cual se adopta la norma de Calidad de Aire Ambiente.

Norma	¿De qué trata?
Ambiente y Desarrollo Sostenible-	
Ley 1931 de 2018	Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático.
Resolución No. 1402 de 2018	Por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones”.
Resolución 1447 de 2018	Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, y se dictan otras disposiciones
Resolución 2509 de 2018	Extiende la vigencia de la Resolución 910 de 2008, la cual reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, hasta tanto sea expedida la nueva resolución con el nuevo reglamento técnico.
Decreto 446 de 2020	Modifica el artículo 2.2.11.1.2. del capítulo 1, título 11, de la parte 2 del libro 2 del decreto 1076 de 2015, en lo referente a verificación bajo esquemas de acreditación internacionales; permite que los organismos de verificación (OVV) miembro de IAF puedan realizar la verificación de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero GEI.
Resolución Conjunta 40177 de 2020 MinMinas	Define los energéticos de cero o bajas emisiones en el transporte terrestre para municipios y distritos teniendo en cuenta lo dispuesto en la ley 1955 de 2019.
Estrategia Nacional de Conservación de Aves de Colombia 2023	Valida y reorienta la iniciativa desarrollada por el Instituto Humboldt en 2001 y propone lineamientos, acciones y metas de conservación enfocándose en objetos de conservación entorno a la avifauna de manera articulada con otros elementos de política pública a nivel nacional.

Nota: La tabla enumera diversas normativas colombianas, describiendo sus propósitos relacionados con la protección ambiental, gestión de recursos naturales, regulación de emisiones, eficiencia energética, cambio climático, y calidad del aire.

Se realizó una revisión de investigaciones desarrolladas, enfocada en 4 temas: importancia de las aves para los ecosistemas, impacto de la ALAN y sus efectos en la fauna, con énfasis en las aves, ecología de las aves nocturnas, referentes normativos y técnicos para las variables asociadas a la calidad del aire, especialmente la contaminación lumínica. El objetivo fue identificar los límites de iluminancia permitidos o recomendados para ecosistemas o áreas naturales.

Tabla 4.

Listado de estudios y normas relacionados con la importancia de las aves, ecología de aves nocturnas y contaminación lumínica.

Tema	Autor	Título	Año de publicación
Importancia de las aves para los ecosistemas	Molina M. y Bohórquez K.	Diversidad de aves: potencial indicador de sostenibilidad ecológica en agroecosistemas del sur del Lago de Maracaibo	2013
	Benites Julieta.	Las comunidades de aves terrestres como indicadoras de impactos en bosques de <i>Nothofagus antarctica</i> de Tierra del Fuego	2021
Impacto de la contaminación lumínica y sus efectos en la fauna, con énfasis en las aves	Alaasam, J. Xu Liu, Ye Niu, Justine.S. Habibian, Simon Pieraut, Brad S. Ferguson, Yong Zhang, Jenny Q.	Effects of dim artificial light at night on locomotor activity, cardiovascular physiology, and circadian clock genes in a diurnal songbird.	2021
	Castillo Carrasco, A. Chamba Flores, Y	Impacto de la contaminación lumínica en la diversidad de aves.	2021
	Cross, S. Cross, A. Tomlinson, S. Clark Ioannou, S. Nevill, P. & Bateman, P	Mitigation and management plans should consider all anthropogenic disturbances to fauna	2021
	Falcón, J. Torriglia, A. Attia, D. Viénot, F. Gronfier, C. Behar-Cohen, F. Martinsons, C. & Hicks, D	Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems	2020
	González Madrigal, J. Solano Lamphar, H. Ramírez, M	La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas	2020
	Marin Gomez, O. García-Arroyo, M. Sanchez Sarria, C. Sosa Lopez, J. Santiago Alarcón, D. MacGregor Fors, I.	Nightlife in the city: drivers of the occurrence and vocal activity of a tropical owl	2020

Tema	Autor	Título	Año de publicación
	Negro Juan	Mejor en el lado oscuro: efectos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad y la salud humana	2016
	Rueda, P. Jhon, V.	La problemática de la contaminación lumínica: una revisión	2022
	Silva, R. Medrano, F. Tajada, I. Terán, D. Peredo. <i>Et al..</i>	Evaluación del impacto de la contaminación lumínica sobre las aves marinas de Chile: Diagnóstico y propuestas	2020
	Solano Lamphar, H. San Martín Páramo, R. García Gil, M	Estudio Sobre Contaminación Lumínica en el Parque Natural del Delta del Ebro	2009
	Ursino, C. Rebolo, N. Gorleri, F.	Impactos de la contaminación lumínica con especial foco en la Argentina	2022
	Chaparro, S. Enríquez, P. Lopera, A.	Búhos de Colombia: guía ilustrada	2021
	Chaparro, S. Córdoba, S. López, J. Restrepo, J. Cortes, O	Los búhos de Colombia en P. Enríquez (Ed.), Los búhos neotropicales: diversidad y conservación.	2015
Ecología de las aves nocturnas	Camargo, P. Rodríguez, D	Anidación del búho campestre (<i>Asio flameus bogotanensis</i>) en la sabana de Bogotá	2019
	Zuberogoitia, Iñigo. Y Campos Luisa F.	Censusing owls in large áreas. Ardeola	1998
	Zuberogoitia, I. Laso, M. Egunez A. Azkona, A, De Juan, S Gonzalez de Buitrago, C. <i>Et al..</i>	Censo de aves nocturnas de Euskadi	2018
Referentes normativos y técnicos para variables asociadas	Benítez García, Lina.	Eficacia de la reglamentación para la prevención y disminución de la contaminación lumínica en Colombia, en el periodo 2010 – 2016	2016

Tema	Autor	Título	Año de publicación
con la contaminación lumínica	Mander, S. Fakhrol, A. Ruggiero, L. Ooi, L.	How to measure light pollution – A Systematic review of methods and applications	2023
	Ministerio de Minas y Energía	Resolución 180540 de 2010	2010
	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación	Norma Técnica Colombiana NTC 900	2011

Nota: La tabla presenta referencias bibliográficas de estudios sobre la importancia de las aves para los ecosistemas, el impacto de la contaminación lumínica en la fauna, especialmente en aves, la ecología de las aves nocturnas, y referentes normativos y técnicos relacionados con la contaminación lumínica.

Se seleccionaron 21 artículos científicos, 2 libros y 2 tesis que cumplieran con los criterios de contenido para la fundamentación de esta investigación. Además, se analizaron 24 requisitos legales nacionales. A través de esta revisión se puede establecer que:

- Las aves son un grupo con un alto grado de importancia para los ecosistemas, incluso pueden ser consideradas como indicadores de la calidad o impacto de estos.
- La contaminación lumínica genera impactos significativos sobre la fauna, especialmente sobre las aves, cuyas consecuencias sobre este grupo son diversas, entre las que se destacan la alteración de los ciclos biológicos, cambios en su dinámica de migración, incremento de la mortalidad por accidentes con la infraestructura de las ciudades, desplazamiento de especies y cambios en su nicho ecológico y funciones el ecosistema.
- Pese a los estudios, se tiene poca información de las aves con hábitos nocturnos, especialmente los Strigiformes y Caprimulgiformes.
- No existen normas en el país ni en Latinoamérica que establezcan límites para controlar los niveles de contaminación lumínica o para alguna de sus variables para los ecosistemas.
- Existen referentes científicos que advierten los niveles de iluminancia que pueden generar afectaciones en diferentes grupos de fauna (Tabla 5).

Tabla 5.

Niveles de iluminancia mínimos requeridos que afectan a diferentes grupos de fauna.

Orden	u (lx)	Fuente
Coleópteros	0.18	(Bird, 2014)
Strigiformes	0.01	(García Gil <i>et al.</i> , 2018)
Charadriiformes	0.74	(Gaston <i>et al.</i> , 2013)
Passeriformes	1.26	(Kempeaners <i>et al.</i> , 2010)
Roedores	0.01	(Giannetto <i>et al.</i> , 2011)

Nota: Adaptado del capítulo del libro García Gil, *et al.* (2018). La tabla muestra los niveles mínimos de iluminancia que afectan a diferentes grupos de fauna, junto con sus respectivas fuentes. Los coleópteros requieren al menos 0.18 lx, los strigiformes y los roedores 0.01 lx, los charadriiformes 0.74 lx, y los passeriformes 1.26 lx, según diversas investigaciones.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diagnosticar el impacto que genera la iluminación artificial nocturna en las comunidades de aves nocturnas en la Reserva Distrital de Humedal “Santa María del Lago” de la ciudad de Bogotá.

2.1.1 *Objetivos específicos*

- Validar la riqueza de especies de aves nocturnas presentes en la RDH “Santa María del Lago”
- Validar si los niveles de iluminancia medidos en el humedal cumplen los límites permisibles establecidos o recomendados en referentes científicos, las normas nacionales o internacionales de referencia para zonas naturales o ecosistemas.
- Describir los cambios en la ecología de las especies de aves identificadas en la zona de estudio expuesta a los niveles de iluminación medidos.
- Estimar la correlación entre la riqueza de aves nocturnas y los niveles de iluminación medidos.
- Analizar las estrategias de gestión ambiental para el manejo de los efectos de la actividad antrópica respecto de las especies en estudio.

3 METODOLOGÍA

3.1 Localización del proyecto

El proyecto de investigación se realizó en el En la Reserva Distrital de Humedal “Santa María del Lago” se encuentra localizado al noroccidente de la ciudad de Bogotá en la localidad de Engativá, Limita por el norte con el Conjunto Residencial de San Francisco; hacia el oriente con las Carreras 74 y 73 A y el Conjunto Residencial Sago, por el occidente con la carrera 76 y por el sur con la calle 75. La RDH “Santa María del Lago” posee un área de 10.8 hectáreas (Figura 1).

Figura 1.

Área de estudio de la RDH Santa María del Lago.



Nota: El polígono delineado en verde corresponde al área de estudio. Adaptado de *Google Maps*, 2023.

3.2 Materiales y Equipos

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se requirieron equipos de cómputo, recursos bibliográficos oficiales de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), de bases de datos científicas u otras fuentes confiables que contengan información relacionada con avifauna y efectos de la contaminación lumínica como Google Academics, ScienceDirect, Springer y Scopus, eBird y iNaturalist (<https://colombia.inaturalist.org>). Adicionalmente, para los monitoreos en la fase experimental se utilizaron binoculares Celestrom Upclose G2 7x35 para realizar avistamientos; Luxómetro o medidor de iluminancia marca Kyoritsu 5220 para las mediciones de iluminancia; grabadora de voz SONY UX570 o de similares características para facilitar la identificación de las especies y obtener registros de las vocalizaciones de las aves nocturnas presentes en la zona de estudio con óptima calidad; y un parlante inalámbrico SONY XP 100 para reproducir las vocalizaciones de las especies de aves nocturnas registradas para la zona para promover el reclamo y así obtener registros de las vocalizaciones de estas.

3.3 Métodos de análisis documental y experimental

Esta investigación se desarrolló en 5 etapas en las cuales se consideró el análisis de información primaria (campo) y secundaria (documental). Inicialmente se determinó la riqueza de aves nocturnas presentes en el humedal. Luego, se validaron los límites de referencia para los niveles de iluminancia en ecosistemas teniendo en cuenta referentes normativos, técnicos y científicos, frente a los niveles de iluminancia presentes en el humedal. Posteriormente, se evaluó la relación entre la avifauna nocturna asociada a la Reserva Distrital Humedal “Santa María del Lago” y la exposición a niveles de iluminancia medidos en el humedal a través de luxometrías. Por último, se analizaron y propusieron diferentes alternativas de gestión que podrían ser aplicadas para mitigar el impacto de ALAN sobre los grupos de avifauna evaluados en la RDH “Santa María del Lago”.

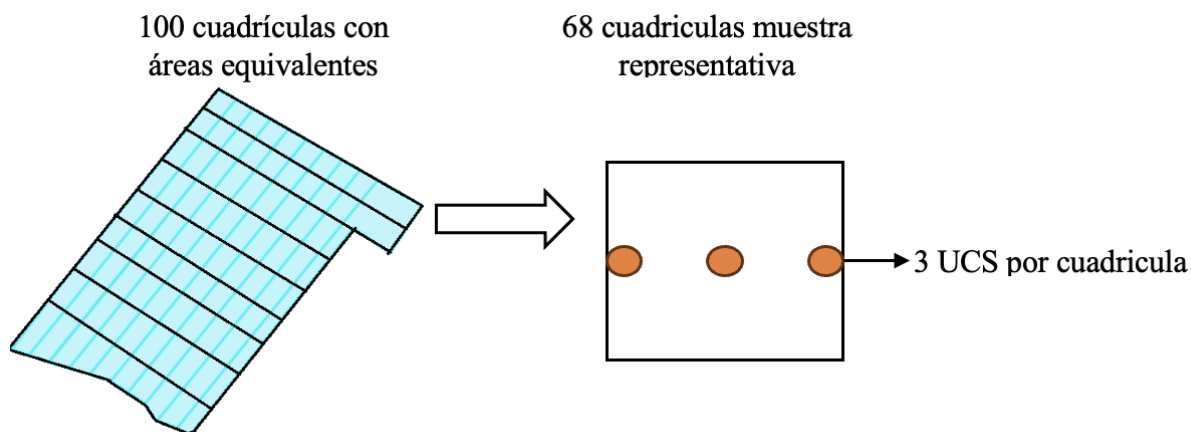
3.3.1 Etapa 1. Cambios en las dinámicas de nicho en las especies de aves nocturnas presentes en el la RDH “Santa María del Lago”

3.3.1.a. Revisión de información secundaria. Se realizó una validación de la información de las especies de aves nocturnas registradas en la RDH Santa María del Lago, a partir de la diversidad reportada en la Guía de aviturismo de Bogotá (Moreno Salazar, et al., 2019) en la cual se registraron 9 especies. Sin embargo, estos datos de riqueza fueron precisados a partir de los avistamientos en el humedal publicados en la plataforma eBird y iNaturalist Colombia. Posteriormente, se ejecutó la revisión de información secundaria aportada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), en la cual se revisaron 5 informes de monitoreo de fauna y se obtuvieron evidencias testimoniales de los funcionarios encargados del humedal.

Por otra parte, se realizaron reuniones con funcionarios encargados de la RDH “Santa María del Lago” para coordinar las actividades de medición, censo y monitoreo en campo. Para la captura de información se construyó el instrumento “Lista de chequeo de especies”, con el fin de validar estos reportes durante las jornadas de censo y monitoreo en campo.

3.3.1.b. Levantamiento de información primaria de especies en campo. Para la evaluación de la riqueza de aves nocturnas del humedal se implementó una adaptación del método de unidades de censo (UCS) propuesto por Zuberogoitia et al. (2018) en el censo de aves nocturnas del valle de Euskadi. En primer lugar, se dividió el área total de las coberturas en la RDH Santa María del Lago en 100 cuadrículas con áreas equivalentes en la herramienta SIG (ArcGIS pro). En cada cuadrícula se establecieron 3 UCS (Figura 2). En las unidades de censo UCS se realizaron avistamientos y grabaciones durante 3 minutos sin alteraciones y 3 minutos con el método de playback utilizando la grabadora de voz, durante 4 noches en horarios de las 19:00 a las 24:00 horas. Los datos obtenidos de la riqueza de especies de aves nocturnas presentes en el humedal se registraron en el instrumento “Instrumento para la validación de riqueza de especies de aves” cuyos resultados se registraron en el Anexo 1.

Figura 2.
Distribución de cuadrículas y USC.



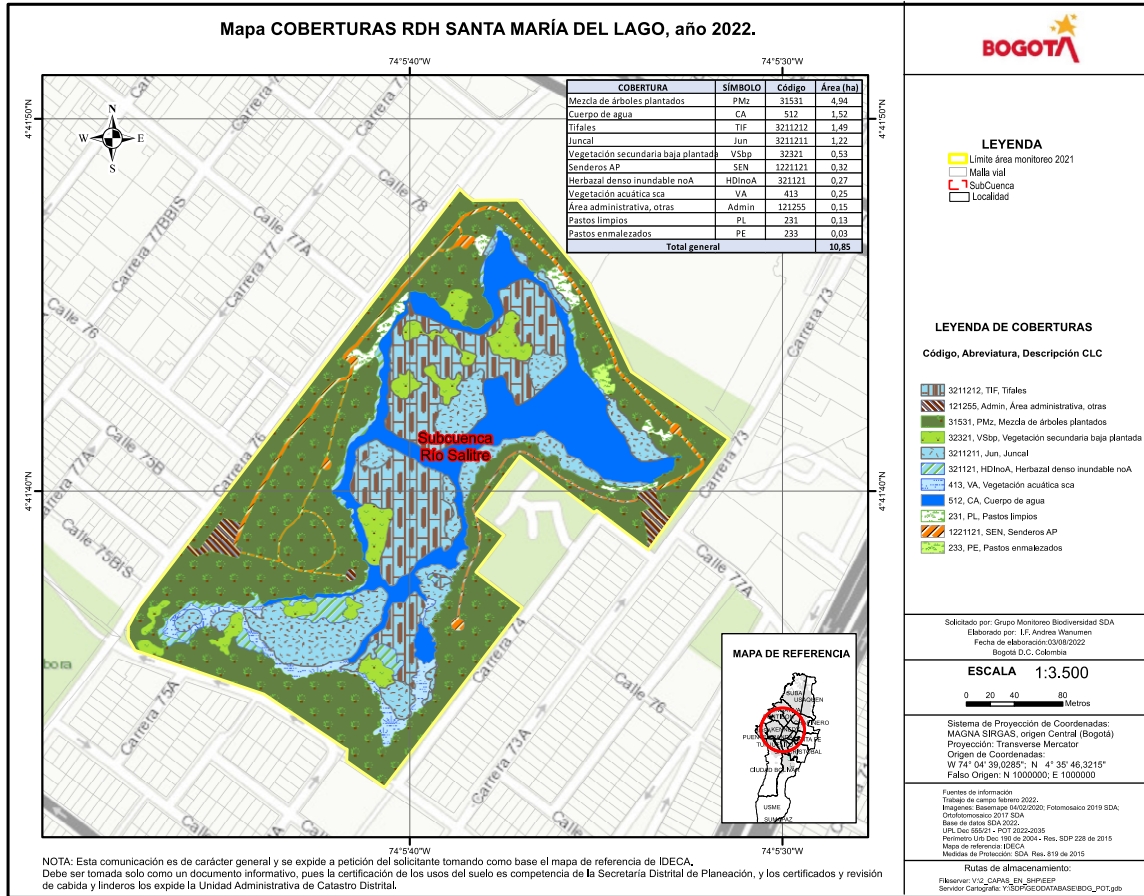
Nota: Arreglo del diseño experimental para la toma de datos de avistamientos y grabaciones de cantos.

Posteriormente, se seleccionó una muestra representativa con un nivel de confianza del 95% y 5% de error, teniendo en cuenta que los hábitos de nicho ecológico del ensamble de aves nocturnas reportadas en el humedal están asociados fundamentalmente a estas en la proporción porcentual en la que están establecidas según su área ocupada en el humedal.

3.3.1.c. Revisión de referentes legales, normativos y científicos sobre niveles de iluminación para ecosistemas, coberturas vegetales o especies de fauna. Se desarrolló una revisión del marco legal colombiano, así como de estándares y normas internacionales para validar si estos definen algún valor límite de referencia para la exposición a la iluminación por parte de ecosistemas, coberturas de la tierra o animales. También se ejecutó una búsqueda en bases de datos (Google académico, Scencedirect, Springer y Scopus) con el mismo fin utilizando las ecuaciones de búsqueda “contaminación lumínica” AND “aves”; “contaminación lumínica” AND “ecosistemas”; “iluminancia” AND “aves” y “light pollution” AND “birds” y “ALAN” AND “birds”. Por último, la validación de los límites de referencia consultados frente a los criterios definidos fue consignado en el formato “Instrumento para la validación de referentes, legales, normativos técnicos y científicos” (Ver Anexo 2).

3.3.1.d. Medición de niveles de iluminación en la RDH “Santa María del Lago”. Se realizaron mediciones de iluminancia con el luxómetro Kyoritsu 5202 en cada una de las UCS establecidas sobre planos horizontales, adaptando el método definido en la norma NTC 900 (ICONTEC, 2011). Las luxometrías se realizaron entre las fuentes de iluminación artificial que incidían en el humedal, tomadas en el centroide de las UCS establecidas en cada cuadrícula, a una altura promedio de 0.85 m del suelo. Se aseguró cubrir la muestra de UCS establecidas para cada tipo de cobertura terrestre presente en el humedal tomando como referencia el mapa de coberturas de la tierra (Figura 3). Estas mediciones fueron ejecutadas durante 4 noches en los mismos horarios en que se desarrollaron los censos de avifauna nocturna entre las 19:00 y 24:00 horas. Posteriormente, se realizó el cálculo de la iluminancia promedio por UCS y por cobertura de la tierra, así como del factor de uniformidad de iluminancia y así poder tener información adicional de la distribución de ALAN sobre las UCS y las coberturas de la tierra.

Figura 3.
Coberturas de la reserva distrital de humedal (RDH).



Nota: Adaptado de Secretaría Distrital de Ambiente SDA, (2022). La figura muestra las coberturas registradas en el humedal y sus alrededores, donde se observan las medidas de área total, la simbología y los códigos de cobertura.

3.3.1.e. Revisión de información sobre la ecología de especies de aves nocturnas presentes en la RDH “Santa María del Lago” y validación de los cambios en sus dinámicas de nicho. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la validación de riqueza, se realizó una revisión bibliográfica enfocada en los aspectos de la ecología tales como reproducción, anidación y dinámicas de nicho de los grupos taxonómicos registrados en el humedal. La búsqueda se realizó en bases de datos como Scopus, Springer, ScienceDirect y Google academics utilizando como criterios de búsqueda los términos, “Strigiformes”, “Caprimulgiformes”, “Megascops”, “Asio” AND, “Ligth Pollution”; “ALAN”.

La información obtenida fue complementada con los registros de riqueza de especies obtenidos en el humedal, incluyendo coordenadas geográficas, grabaciones de vocalizaciones, información sobre la cobertura de la tierra asociada a la UCS medida con los datos de composición y estructura de la vegetación, así como la dirección de origen del canto del ave identificada cuando no se encontraba dentro en la UCS.

Las vocalizaciones obtenidas en las UCS fueron validadas, a través de la comparación con los bancos de sonidos de la base de datos oficial de vocalizaciones de la aplicación Xeno-Canto (<https://xeno-canto.org>).

3.3.2 Etapa 2. Análisis de correlación entre las variables riqueza de especies, cobertura terrestre y ALAN

Los datos de las mediciones de iluminancia y los registros vocales los registros obtenidos en las UCS censadas fueron asociados a las coberturas de la tierra presentes en la zona. Los registros de iluminancia fueron analizados mediante una prueba de Kolmogorov-Smirnov en Excel. para validar si estos presentan una distribución normal. Posteriormente, se realizó una prueba de Chi Cuadrado en Excel para evaluar si existe la correlación entre las variables nominales (cobertura de la tierra y riqueza de especies) y por último un análisis regresión múltiple con variables binarias en Excel y validado en Python, teniendo en cuenta si existía la correlación que las 2 de variables cualitativas (cobertura de la tierra y riqueza) o en caso contrario evaluar únicamente la relación entre la cobertura terrestre y la variable cuantitativa (iluminancia). En este análisis, se determinó a la iluminancia como la variable dependiente, mientras que la riqueza y las coberturas de la tierra como las variables independientes y así poder evaluar la relación entre estas.

3.3.3 Etapa 3. Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”

Se realizó una revisión bibliográfica teniendo los científicos consultados, relacionados con los impactos derivados de ALAN en la avifauna. El objetivo fue identificar acciones o medidas de manejo ambiental y las recomendaciones para mitigar este impacto.

Se analizaron dos instrumentos de política pública como la política nacional de humedales y la estrategia nacional para la conservación de las aves para extraer elementos clave que pudieran servir como criterios en la valoración de las medidas de manejo y recomendaciones identificadas. Las medidas de manejo seleccionadas fueron categorizadas según la jerarquía establecida en la Metodología General para la Elaboración de Estudios Ambientales (MADS, 2018). Posteriormente, se evaluaron mediante una adaptación del método matriz de consecuencia/probabilidad o mapa de calor establecido en la norma ISO 31010 (International Organization for Standardization, 2019).

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de la Etapa 1. Cambios en las dinámicas de nicho en las especies de aves nocturnas presentes en el la RDH “Santa María del Lago”

4.1.1 Resultados de la revisión de información secundaria

4.1.1.a. Resultados de la revisión de bases de datos de biodiversidad. En la base de datos de biodiversidad eBird se validó la existencia de 182 registros de riqueza de aves asociados a la RDH “Santa María del Lago”, de los cuales 6 correspondían a especies de aves nocturnas pertenecientes a las familias Strigidae y Caprimulgidae (Tabla 6).

Tabla 6.

Especies de aves nocturnas reportadas en base de datos eBird presentes en la RDH Santa María del lago.

Orden	Familia	Especie
Strigiformes	Strigidae	<i>Asio clamator</i>
		<i>Megascops choliba</i>
		<i>Asio stygius</i>
		<i>Strix albitarsis</i>
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Chordeiles minor</i>
		<i>Systellura longirostris</i>

Nota: Adaptado de eBird (2021). Registro de eBird de presencia de 6 especies en el humedal distribuidas en dos órdenes y dos familias.

Así mismo, en la revisión de los registros de la base de datos reportados en iNaturalist Colombia se encontraron 9 reportes de avistamientos asociados a 4 especies de aves nocturnas (Tabla 7).

Tabla 7.

Especies de aves nocturnas reportadas en base de datos iNaturalist Colombia presentes en la RDH Santa María del lago.

Orden	Familia	Especie
Strigiformes	Strigidae	<i>Asio clamator</i>
		<i>Megascops choliba</i>
		<i>Asio stygius</i>

Caprimulgiformes

Caprimulgidae

Systellura longirostris

Nota: Adaptado de iNaturalist.org. Registro de iNaturalist de presencia de 4 especies en el humedal distribuidas en dos órdenes y dos familias.

4.1.1.b. Resultados de la revisión de documentada oficial de la SDA. También se revisaron 5 resultados en 3 informes técnicos suministrados de por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), de los cuales se obtuvo la siguiente información:

- En los resultados de la implementación 2019 -programa de monitoreo del estado de la biodiversidad en los parques ecológicos distritales de Bogotá (SDA, 2019a), no se evidenciaron registros asociados con riqueza y abundancia de aves nocturnas. Sin embargo, se evidenció que la especie *Zenaida auriculata* (presa habitual de Strigiformes) es el ave más abundante del humedal con 112 individuos.
- En los resultados de la implementación 2019 -programa de monitoreo del estado de la biodiversidad en los parques ecológicos distritales de Bogotá (SDA, 2019b), no se evidenciaron registros asociados con riqueza y abundancia de aves nocturnas. Sin embargo, se evidencia que la especie *Zenaida auriculata* es el ave más abundante del humedal con 138 individuos.
- En el informe anual levantamiento de línea base de la biodiversidad de la reserva distrital de humedal (RDH) Santa María del Lago (SDA, 2022), se confirmó la presencia de la especie *Systellura longirostris* (Caprimulgidae) comúnmente denominado Chotacabras andino. También se identificaron especies de aves y mamíferos que son presas de las especies de Strigiformes tales como la *Zenaida auriculata* (torcaza) y *Rattus norvegicus* (Rata parda).
- Mapa de coberturas RDH Santa María del Lago, año 2022 presenta información de las coberturas de la tierra presentes en el humedal, utilizando la metodología Corine Land Cover adaptada por IDEAM (IDEAM, 2010). Se identificaron 11 tipos de coberturas de las cuales 2 son artificiales, 1 cuerpo de agua y 8 coberturas vegetales (Figura 3, Tabla 8).

Tabla 8.

Distribución de las coberturas de la REDH Santa María del lago.

Cobertura	Área (ha)	%
Mezcla de árboles plantados	4.92	45.35%
Cuerpo de agua	1.52	14.01%

Cobertura	Área (ha)	%
Juncal	1.19	10.97%
Herbazal Denso Inundable no Arbolado	1.1	10.14%
Tifales	0.7	6.45%
Vegetación Secundaria baja plantada	0.55	5.07%
Senderos AP	0.32	2.95%
Vegetación Acuática sca	0.25	2.30%
Área administrativa, otras	0.15	1.38%
Pastos Limpios	0.12	1.11%
Pastos Enmalezados	0.03	0.28%
Total	10.85	100%

Nota: Adaptado de mapa de coberturas de RDH Santa María del Lago (SDA, 2022). La tabla muestra la distribución de coberturas en 10.85 hectáreas, destacando la mayor proporción para mezcla de árboles plantados (45.35%), seguida de cuerpo de agua (14.01%) y juncal (10.97%).

- Informe de actualización de inventario de la biodiversidad de la reserva distrital de humedal (RDH) Santa María del Lago (SDA, 2023) donde se registró la presencia de la especie *Systellura longirostris* (Caprimulgidae), junto con otras especies de aves y artrópodos que son presas de las especies de Strigiformes.
- No se encontraron registros de Strigiformes en los reportes oficiales de la SDA.

4.1.1.c. Evidencias testimoniales de riqueza aportadas por los funcionarios de la SDA. El 2 de junio de 2023 se realizó visita a la RDH Santa María del Lago, en la cual se sostuvo una reunión con 2 funcionarios de la SDA, la Administradora del Humedal y el Ornitólogo encargado del grupo de monitoreo de avifauna del Humedal, quienes confirmaron que en la reserva se han registrado la presencia de 4 especies de aves nocturnas en lo ocurrido del año 2023 (Tabla 9).

Tabla 9.

Reportes de la presencia de aves nocturnas por parte de los funcionarios de la SDA encargados la RDH Santa María del Lago.

Familia	Especie	Registro asociado
Strigidae	<i>Megascops choliba</i> (Currucutú)	Evento de rescate de polluelo encontrado en área administrativa.
	<i>Asio stygius</i> (Búho negruzco)	Registro fotográfico de observador aficionado

	<i>Asio clamator</i> (Búho rayado)	Registro de Cámara de foto-trampeo instalada en el humedal para monitoreo de fauna
Caprimulgidae	<i>Systellura longirostris</i> (Chotacabras andino)	Registro de avistamiento en jornada de monitoreo

Nota: La tabla presenta registros asociados de especies de las familias Strigidae y Caprimulgidae, incluyendo eventos de rescate, observaciones fotográficas, registros de cámaras trampa y avistamientos durante jornadas de monitoreo.

4.1.2 Resultados del levantamiento de información primaria de especies en campo

Se realizaron 4 jornadas de censo en los días 21 y 22 de junio, 7 de octubre de 2023 y el 13 de abril de 2024 durante estas jornadas se realizaron avistamientos nocturnos y grabaciones de 6 minutos (3 con *playback* y 3 sin *playback*) en las UCS establecidas. Estas se definieron a partir de la división del área total de las coberturas presentes en el humedal en 100 cuadrículas equivalentes de 0,1085 hectáreas asociada con la fracción porcentual de las coberturas terrestres. Se seleccionó una muestra representativa con 95% de confianza y 5 % de error, resultando en 56.13 cuadrículas seleccionadas. En cada cuadrícula se establecieron 3 UCS, para un total de 137,394 UCS (Tabla 10). Cabe aclarar que el muestreo solo pudo ser aplicado sobre las coberturas terrestres debido a que la SDA no autorizó realizar monitoreos sobre las coberturas acuáticas por razones de seguridad.

Como resultado de las grabaciones se obtuvieron 2 registros vocales de la especie *Megascops choliba*, los cuales fueron validados mediante la comparación con los registros vocales del libro de Búhos de Colombia (Chaparro Herrera, *et al.*, 2021) asociados a la base de datos Xeno-Canto.

Tabla 10.

UCS establecidas por cobertura de la tierra presentes en la RDH “Santa María del Lago”.

Cobertura de la tierra	Área (ha)	%	# Cuadrículas x cobertura	Muestra de cuadrículas	UCS total
Mezcla de árboles plantados	4,92	45,35%	45,346	36,73	110,19

Cobertura de la tierra	Área (ha)	%	# Cuadriculas x cobertura	Muestra de cuadriculas	UCS total
Vegetación Secundaria baja plantada	0,55	5,07%	5,069	4,106	12,318
Senderos AP	0,32	2,95%	2,949	2,389	7,167
Área administrativa, otras	0,15	1,48%	1,382	1,12	3,859
Pastos Limpios	0,12	1,11%	1,106	0,896	2,688
Pastos Enmalezados	0,03	0,29%	0,276	0,224	0,872
Total	6,09	56,50%	56,129	45,465	137,394

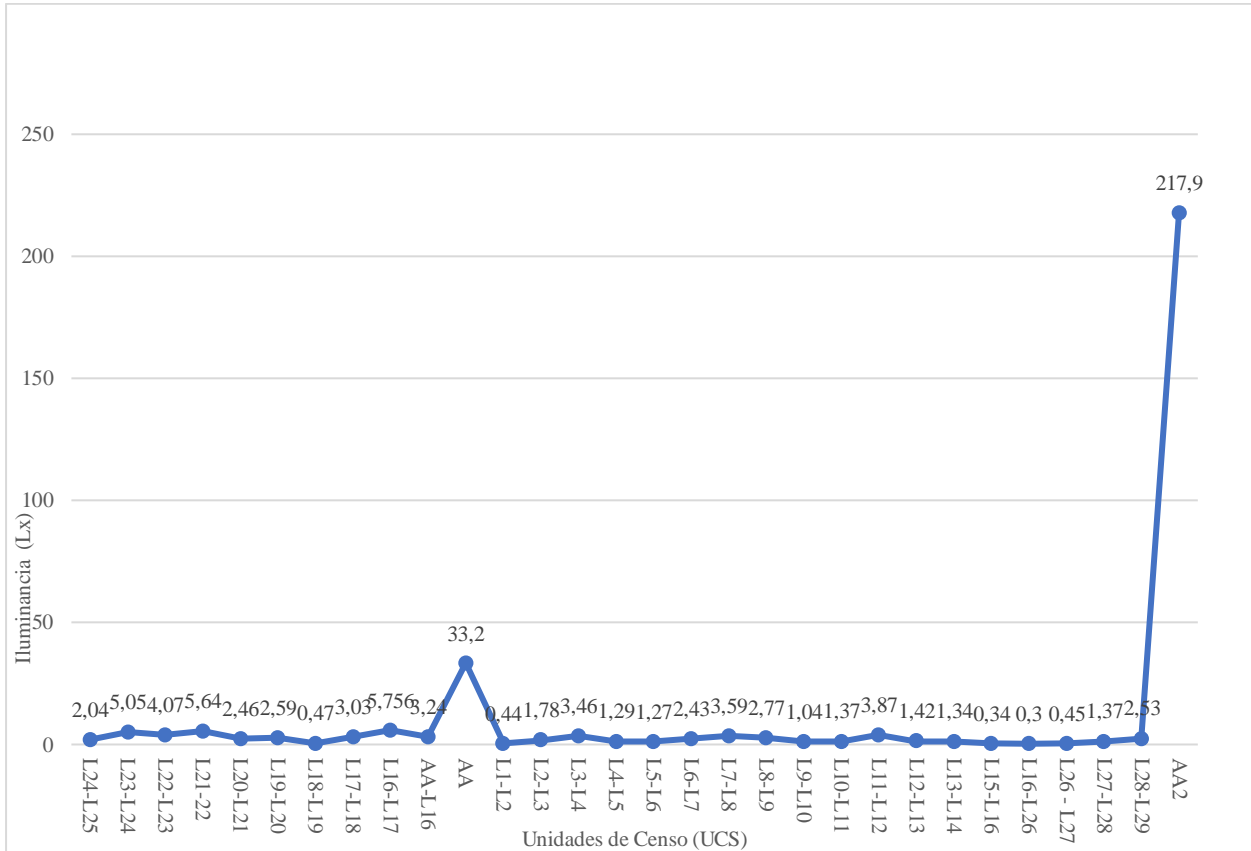
Nota: La tabla detalla las diferentes coberturas de la tierra en un área total de 6,09 hectáreas, mostrando el porcentaje de cada cobertura, el número de cuadrículas por cobertura, la muestra de cuadrículas y el total de unidades de censo (UCS) correspondiente a cada tipo de cobertura.

4.1.3 Resultados de Medición de niveles de iluminación en la RDH “Santa María del Lago”

Se realizaron 4 jornadas de medición de forma simultánea con los censos de avifauna nocturna, en los meses de junio y octubre de 2023 y abril de 2024. Las luxometrías se realizaron adaptando el procedimiento establecido en la NTC 900 (ICONTEC, 2011), utilizando el luxómetro Kyoritsu 5220. La foto celda se posicionó sobre un trípode a una altura de 0,85 m sobre el nivel del suelo, registrando las mediciones durante 1 min por cada UCS establecida. Se obtuvieron en total 291 registros establecidos para las 6 coberturas terrestres presentes en el humedal, abarcando todo el perímetro por 29 luminarias del sistema de alumbrado público y 10 luminarias del alumbrado privado. Se calculó la iluminancia promedio en los tramos establecidos entre cada luminaria para tener un diagnóstico inicial de los niveles de iluminancia incidentes sobre el humedal (Figura 4).

Figura 4.

Iluminancia promedio medida asociada las UCS entre tramos de las fuentes de iluminación.



Nota: La gráfica muestra los resultados registrados de iluminancia en las unidades de censo (UCS) en el RDH “Santa María del Lago”.

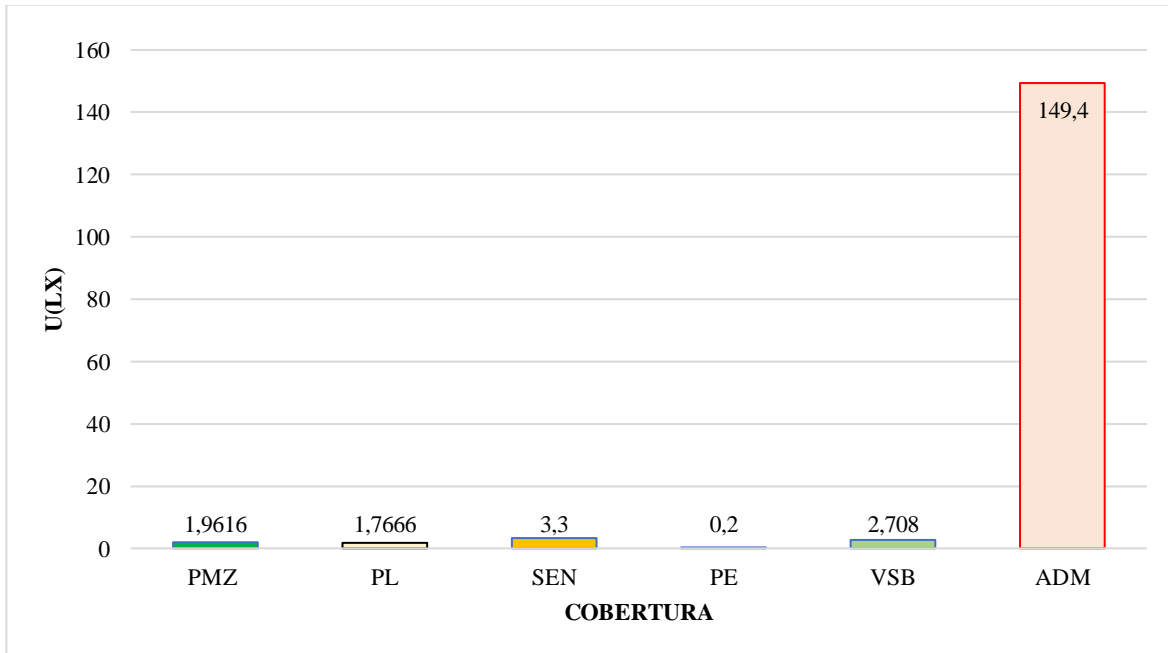
Para todos los tramos analizados se calculó el coeficiente de uniformidad, definido como la relación entre iluminancia mínima y la iluminancia promedio (ICONTEC. 2011). la iluminancia promedio en todas las UCS fue 10.55 lx sin embargo los tramos analizados no son uniformes, puesto que sus valores medidos son inferiores a 0.5, con excepción del área administrativa (Ver Anexo 6).

También se calculó la iluminancia promedio medida (U_{prom}) de las coberturas de la tierra asociadas a las UCS muestreadas. En la cual se observa que la U_{prom} máxima corresponde a la cobertura de las áreas administrativas con un valor de 149.4 luxes, seguido por los senderos con 3.3 luxes y la

U_{prom} mínima está relacionada a la cobertura de pastos enmalezados en la que se registró un valor de 0,2 luxes (Figura 4, Anexo 3). La iluminancia promedio de la muestra representativa en las UCS fue de 6,34 lx.

Figura 5.

Iluminancia promedio de las coberturas terrestres asociadas a las UCS.



Nota: En la gráfica se representan los promedios de iluminancia por cobertura.

4.1.4 Descripción de los cambios en la ecología de la avifauna expuesta a los niveles de iluminancia medidos en el humedal

Se obtuvieron dos registros vocales de la especie *Megascops choliba*. El primer registro fue el 21 de junio de 2023 sobre las 21:40 h en la UCS 42 (4°41'35.8" N 74°05'46.4" W) sobre una cobertura de mezcla de árboles plantados (PMZ). La grabación duró aproximada de 20 segundos. Aunque se registró en la UCS, el sonido se percibía de un sector más al norte, sobre el espejo de agua. Probablemente el búho se encontraba en una percha sobre la vegetación que crece al interior del humedal. El segundo registro se obtuvo en la jornada de monitoreo realizada el 7 de octubre de 2023 sobre las 20:30 horas, en la UCS 141 (4°41'36.2" N 74°05'39.1" W). De manera similar al

primer registro, el sonido provenía del interior de la cobertura acuática, en dirección suroeste (SW) los dos registros fueron ilustrados en un mapa como se aprecia en la figura 4..

Las vocalizaciones obtenidas en las UCS fueron validadas mediante la comparación con los bancos de sonidos de la base de datos de vocalizaciones de la aplicación Xeno-Canto.

Por otra parte, también se registraron vocalizaciones de otras especies como *Oxyura ferruginea* y *Turdus fuscaster* que, si bien no pertenecen a las familias de aves nocturnas, llama la atención que tengan este comportamiento teniendo en cuenta que sus dinámicas de nicho se desarrollan en el día.

Figura 6.
Localización de los registros vocales obtenidos en las UCS.



Nota: La grafica ilustra las UCS georeferenciadas donde se obtuvieron los registros vocales de la especie *Megascops choliba*.

4.2 Resultados de la Etapa 2. Correlación entre ALAN y la Riqueza de Aves Nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”

4.2.1 Prueba de distribución de los datos de iluminancia.

Para verificar si la muestra de las mediciones de iluminancia obtenidas en las UCS seguía una distribución normal, se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov con las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 = La muestra seleccionada corresponde a una distribución normal.
- H_1 = La muestra seleccionada no corresponde a una distribución normal.

Para calcular el valor de Kolmogorov-Smirnov sobre los registros de iluminancia medidos (X_i) de 138 UCS, se siguió la ecuación:

$$\text{Ecuación 1. } z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

Donde \bar{x} corresponde al valor de la media, S a la desviación estándar de la muestra, y P_i y $P(z_i)$ son los percentiles de los X_i y Z_i (Ver Anexo 4).

El valor Kolmogorov-Smirnov corresponde al valor máximo obtenido de los $P(z_i) - P_i$ y $P(z_i) - P_i - 1$ el cual equivale a:

$$Ks_c = 0.9710144$$

Con este resultado de referencia posteriormente se evaluó el valor Kolmogorov-Smirnov de tablas, partiendo de una significancia α para una distribución normal (Tabla 11).

Tabla 11.

Valores de referencia para la significancia asociada a una distribución normal y de Kolmogorov-Smirnov en tablas.

A	0.1	0.05	0.01
C α (normal)	0,819	0,895	1,035
KSt	0.0693498	0.0757852	0.0876398

Nota: La tabla presenta los valores calculados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, incluyendo los umbrales críticos C α para diferentes niveles de significancia (α) y los valores de la estadística de la prueba KSt correspondientes.

Teniendo en cuenta que $KSc = 0.9710144$ es significativamente mayor que el valor de $KSt_{0.01} = 0.0876398$ se puede afirmar que se descarta la hipótesis nula H_0 y por ende los datos no obedecen a una distribución normal.

4.2.2 *Análisis de correlación entre las variables cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas.*

Se realizó una prueba de Chi cuadrado para determinar si existe una relación entre las coberturas de la tierra y la riqueza de aves nocturnas presentes en el humedal, el cual se aplicó a la muestra de 138 UCS seleccionadas para los datos observados (Tabla 12).

Tabla 12.

Matriz de resultados observados.

Cobertura	Observado		
	Positivo	Negativo	Total
PMZ	2	108	110
PL	0	3	3
SEN	0	7	7
PE	0	2	2
VSB	0	12	12
ADMI	0	4	4
Total	2	136	138
Proporción	1,40%	98,60%	1

Nota: PMZ (Mezcla de árboles plantados), PL (Pastos Limpios), SEN (Senderos AP – Áreas Protegidas), PE (Pastos Enmalezados), VSB (Vegetación Secundaria baja plantada) y ADMI (Área administrativa, otras).

Una vez determinadas las frecuencias y proporciones de los datos de riqueza asociados a las coberturas terrestres, se ejecutaron el cálculo de la diferencia de Chi cuadrado (Tabla 13).

Tabla 13.
Matriz de resultados esperados.

Cobertura	Esperado	
	Positivo	Negativo
PMZ	1,5942029	108,405797
PL	0,04347826	2,95652174
SEN	0,10144928	6,89855073
PE	0,02898551	1,97101449
VSB	0,17391304	11,826087
ADMI	0,05797101	3,94202899

Nota: PMZ (Mezcla de árboles plantados), PL (Pastos Limpios), SEN (Senderos AP – Áreas Protegidas), PE (Pastos Enmalezados), VSB (Vegetación Secundaria baja plantada) y ADMI (Área administrativa, otras).

A partir de este análisis se obtuvo un valor de Chi calculado (CHI_{cal}) de 0.516, el cual fue comparado con el valor de Chi de tablas (CHI_{tab}). Teniendo en cuenta los grados de libertad calculados para el conjunto de datos presentes fueron 11.070, se observó que el resultado de Chi calculado fue menor que el resultado de la prueba Chi de tablas. Por tal razón, los resultados de la prueba de Chi cuadrado demuestran que no existe una relación entre la riqueza de especies de aves nocturnas registradas y las coberturas terrestres presentes en el humedal.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de Kolgomorov y Chi cuadrado, se procedió con un análisis de regresión multivariado binario entre las variables Cobertura de la Tierra e iluminancia. El análisis de regresión se realizó en Excel tomando a las coberturas terrestres como

variable independiente y la iluminancia como variable dependiente respectivamente con un porcentaje de error del 5% (Tablas 14 y 15).

Tabla 14.

Resultados del análisis de regresión multivariado binario entre la iluminancia, cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”.

Métrica	Valor
Coefficiente de correlación múltiple	0,77924489
Coefficiente de determinación R ²	0,6072226
R ² ajustado	0,57396562
Error típico	20,4071119
Observaciones	138

Nota: La tabla presenta las métricas del análisis de regresión múltiple.

Tabla 15.

Resultados del análisis de regresión multivariado entre la iluminancia, cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas de la RDH “Santa María del Lago”.

Fuente	GL	Sum cuadrados	Prom cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	8	84340,434	10542,5542	33,7537079	3,62E-28
Residuos	131	54554,9784	416,450217	-	-
Total	139	138895,412	-	-	-

Nota: Esta tabla presenta el resultado del modelo de regresión multivariado, evaluando la relación entre la iluminancia, la cobertura terrestre y la riqueza de aves nocturnas en la RDH “Santa María del Lago”.

Los resultados de R² ajustado muestran una relación entre las variables del 0.573 con una significancia de 3,62 x 10-28. Dado que el valor es menor a 0.05, podemos afirmar que al menos una de las coberturas terrestres tiene relación con la iluminancia presente en el humedal.

4.3 Resultados de la etapa 3 Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”

A partir de la revisión de la política nacional para humedales interiores de Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, 2002) y la estrategia nacional para la conservación de las aves de Colombia (Moreno Salazar, *et al.*, 2022), se consideraron algunos de sus elementos (Tabla 16) para definir los criterios de evaluación de las medidas de manejo y recomendaciones en la literatura.

Tabla 16.
Instrumentos de Política Ambiental en Colombia.

Instrumento	Objetivo	Entidad	Criterios elegidos
Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia	Propender por la conservación y el uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte integral del desarrollo del País.	MADS	Principios rectores Estrategias y líneas de acción
Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves de Colombia (ENCA) 2030	Mejorar la conservación de las aves en Colombia a través de su estudio, protección y manejo de hábitats	MADS	Ejes estratégicos Análisis de amenazas

Nota: Esta tabla presenta algunos instrumentos de política ambiental en Colombia, detallando su objetivo, la entidad responsable y los criterios elegidos para su implementación. Adaptado de Ministerio de Medio Ambiente (2002) y Moreno Salazar *et al.* (2022).

A partir de estos, se estableció el nivel de impacto y probabilidad para las dimensiones económica, escala geográfica y conservación (Tabla 17), lo cual permitió la evaluación positiva del impacto de las medidas de manejo (MM) identificadas en el análisis de los 24 artículos científicos. La Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves de Colombia (ENCA) definió objetos de conservación y sus principales amenazas (Tabla 18).

Tabla 17.*Evaluación de Impacto y Probabilidad de Implementación.*

Nivel de Impacto	Impacto			Probabilidad		
	Económica	Escala geográfica	Conservación	Poco probable	Probable	Muy probable
Alto	Su implementación requiere inversiones superiores a los \$ 1000.000.000	Regional (beneficia a varios municipios o ciudades)	Promueve la conservación de varios ecosistemas o de un ecosistema estratégico	Medio	Alto	Alto
Medio	Su implementación requiere inversiones entre \$ 100.000.000 y \$ 1 000.000.000	Municipal (beneficia a un municipio o ciudad)	Promueve la conservación de un ecosistema o una comunidad	Bajo	Medio	Alto
Bajo	Su implementación requiere inversiones inferiores a los \$ 100.000.000	Local (beneficia a un barrio, localidad o vereda)	Promueve la conservación de una especie	Bajo	Medio	Medio

Nota: Esta tabla evalúa el impacto y la probabilidad de implementación de iniciativas según diferentes niveles de impacto económico y escala geográfica. Se consideran tres niveles de impacto (Alto, Medio, Bajo) y tres niveles de probabilidad (Poco probable, Probable, Muy probable), detallando las características y requisitos asociados a cada nivel. Las evaluaciones se centran en aspectos como la inversión requerida, la escala geográfica de beneficio y la promoción de la conservación de ecosistemas y especies.

Tabla 18.*Evaluación de Amenazas a Aves de Humedales Interiores y Urbanos.*

Objetos de conservación		Aves de humedales interiores	Aves en sistemas urbanos	
Amenazas	Desarrollo comercial y residencial	Resultado	NA	Bajo
		Alcance	NA	Bajo
		Severidad	NA	Alto
		Irreversibilidad	NA	Alto
	Infraestructura vial y transporte	Resultado	NA	Alto
		Alcance	NA	Alto
		Severidad	NA	Alto
		Irreversibilidad	NA	Alto

Nota: Esta tabla presenta una evaluación de las amenazas que enfrentan las aves de humedales interiores y las aves en sistemas urbanos. Las amenazas evaluadas incluyen el desarrollo comercial y residencial, así como la infraestructura vial y de transporte. Se detallan los resultados de cada amenaza en términos de su resultado, alcance, severidad e irreversibilidad para cada grupo de aves, destacando las diferencias en el impacto percibido entre estos entornos distintos.

De las 12 medidas de manejo evaluadas, 4 fueron calificadas como de alto impacto, 6 de impacto medio y 2 de bajo impacto (Tabla 19).

Tabla 19.*Medidas de Manejo para la Gestión de los Impactos de ALAN.*

Tipos de medida de manejo	Descripción	Impacto positivo de la MM
Prevenición	Establecer zonas de reserva para promover la conservación del cielo oscuro	Alto
	Evitar el desarrollo de infraestructura de iluminación y alumbrado público en áreas colindantes con ecosistemas naturales presentes en entornos urbanos	Medio
	Promover la formulación de lineamientos de ordenamiento territorial para la protección de ecosistemas naturales y seminaturales	Alto
	Desarrollar instrumentos de política pública y normas enfocadas específicamente al control y mitigación de los impactos de ALAN sobre la biodiversidad	Alto
	Incentivar la investigación científica para fortalecer el conocimiento de la biodiversidad en las ciudades y centros poblados que permitan la identificación de determinantes ambientales	Medio
Mitigación	Instalar sistemas de iluminación y alumbrado público más eficientes y complementados por sistemas de automatización para minimizar la exposición los ecosistemas a los efectos de ALAN	Medio
	Retirar u optimizar las instalaciones de iluminación y alumbrado público presentes en ecosistemas naturales o seminaturales para atenuar su impacto negativo	Medio
	Realizar programas de monitoreo sobre las poblaciones de fauna más afectadas por los impactos de ALAN para proporcionar medidas de conservación eficaces para las especies impactadas	Bajo
	Incrementar la densidad arbórea sobre las coberturas terrestres en los ecosistemas naturales presentes en el entorno urbano	Medio

Tipos de medida de manejo	Descripción	Impacto positivo de la MM
Corrección	Reemplazar las luminarias presentes en ecosistemas de entornos urbanos por tecnologías más eficientes que generen menores cantidades de iluminancia intrusa sobre los ecosistemas	Medio
	Crear grupos de rescate y manejo de fauna para la rehabilitación de individuos afectados por los impactos de ALAN	Bajo
Compensación	Desarrollar modos y mecanismos de compensación asociados a los impactos de ALAN para todos los proyectos, obras o actividades se desarrollen en el país	Alto

Nota: Esta tabla categoriza diferentes medidas de manejo según su enfoque: Prevención, Mitigación, Corrección y Compensación para mitigar los efectos de la contaminación lumínica artificial (ALAN). Cada medida incluye una breve descripción de su implementación específica y se evalúa su impacto positivo esperado en la reducción de los efectos adversos sobre la biodiversidad y los ecosistemas urbanos y naturales, clasificado como Alto, Medio o Bajo.

5 DISCUSIÓN

Para validar el impacto de ALAN en el ensamble de aves nocturnas de la RDH “Santa María del Lago” fueron evaluadas distintas variables.

5.1 Cambios en las dinámicas de nicho de la avifauna nocturna de la RDH “Santa María del Lago”

Durante las jornadas de censo realizadas, se obtuvieron dos registros vocales de la especie *Megascops choliba*. Aunque esta especie ya había sido reportada en las bases de datos de eBird y iNaturalist, y en las entrevistas con los funcionarios de la SDA, no aparece registrada en los informes técnicos de censo y línea base realizados por la entidad (SDA, 2022). Esto pudo deberse a que la mayoría de estas actividades se ejecutan en horarios diurnos. Sin embargo, no se obtuvieron registros de la especie *Systelura longirostris* reportada en estos mismos informes. Por ende, surge la necesidad de diseñar e implementar programas de monitoreo de avifauna diurna y nocturna que permitan obtener información más detallada y consolidada de la composición y estructura de este grupo de fauna en el humedal.

A través de las fotometrías realizadas en el humedal, se obtuvo que la iluminancia promedio en todas las UCS fue 10.55 lx, mientras que la iluminancia promedio de la muestra representativa en las UCS fue de 6,34 lx. En términos de coberturas terrestres, las áreas administrativas estuvieron asociadas a los valores promedio máximos (149,4 lx) y los pastos enmalezados a los promedios mínimos con (0.2 lx). Si bien en los resultados de la revisión bibliográfica no se encontraron niveles de iluminancia máximos de referencia permitidos en ecosistemas terrestres, es importante mencionar que, durante el desarrollo de esta investigación, el Ministerio de Minas y Energía expidió la resolución 40150 de mayo 3 de 2024 “Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP”. En esta, se reglamentó un límite de 10 lx para la emisión de iluminancia sobre senderos y zonas de tránsito al interior de parques y áreas protegidas. Pese a esta nueva normativa, la cual se encuentra en proceso de transición y entrara en vigencia hasta junio de 2025, cabe destacar que García Gil, *et al.* (2018) afirmó que los niveles de

iluminancia iguales o superiores a 0.01 lx afectan negativamente las dinámicas de depredación de algunas especies de Strigiformes. Así mismo, la presencia de niveles muy bajos de esta variable altera el comportamiento de otros grupos taxonómicos, como los insectos que desempeñan su rol de presas en el ecosistema (Rueda Punina, 2019). Por lo tanto, es necesario generar más investigaciones al respecto para así poder tener información valiosa que permita promover iniciativas orientadas a la conservación de la avifauna nocturna especialmente en ecosistemas estratégicos como los humedales.

Los censos de avifauna realizados en las UCS permitieron obtener registros vocales de la especie *Megascops choliba*. Sin embargo, en campo se pudo percibir estos sonidos provenían del interior de las coberturas acuáticas del humedal. Cabe destacar en que los Strigiformes son depredadores adaptados para tener éxito en condiciones de total oscuridad (Chaparro Herrera, *et al.*, 2021). Probablemente, la luz intrusa presente en las coberturas terrestres esté promoviendo que los hábitos de forrajeo de la especie se desarrollen en estas coberturas, toda vez que están ubicadas en zonas más alejadas de los sistemas de iluminación y alumbrado público.

Por otra parte, el Currucutú común (*Megascops choliba*), al igual que muchas especies de los géneros *Megascops* y *Otus*, suelen anidar en cavidades o nidos abandonados por otras especies de aves, generalmente están en árboles o zonas elevadas de 1 a 10 metros de altura (Chaparro Herrera, *et al.*, 2021). No obstante, no es posible afirmar que durante las jornadas de censo los individuos registrados de *Megascops choliba* se encontraran en temporada de reproducción, anidación o empollamiento, la presencia de la especie al interior de las coberturas acuáticas podría ser estudiada con mayor detalle para evaluar si esta puede ser considerada como un comportamiento atípico en su dinámica de anidación.

5.2 Correlación entre la riqueza de aves nocturnas y los niveles de iluminación medidos

Los resultados de la prueba de Chi-cuadrado permiten descartar una relación entre la riqueza de avifauna nocturna y las coberturas terrestres presentes en el humedal. Sin embargo, Fröhlich y Ciach (2019) afirmaron que la riqueza de búhos está relacionada positivamente con la heterogeneidad de las coberturas terrestres. Por lo tanto, es importante continuar con las

investigaciones en este sentido, teniendo en cuenta que los datos primarios de riqueza obtenidos en este estudio fueron escasos y en ese sentido no solo cobra relevancia la necesidad investigar en escenarios multitemporales esta variable, sino que .

La prueba de regresión multivariada binaria aplicada entre las coberturas vegetales y las mediciones de iluminancia obtuvo un coeficiente de correlación de 0,779 y un R^2 de 0,573. Estos resultados que permiten inferir que existe una relación entre las variables estudiadas. Lo anterior tiene un sentido ecológico, dado que las coberturas arbóreas afectan los niveles de iluminación incidente en el humedal.

5.3 Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”

De las 12 medidas de manejo ambiental consolidadas y evaluadas de la revisión bibliográfica, las que generan mayor impacto positivo están asociadas con prevención y mitigación de la intrusión de ALAN en los ecosistemas (Castillo Carrasco y Chamba Flores, 2021). Se destaca la necesidad de formular instrumentos de política pública y ordenamiento territorial enfocados en la gestión de los impactos de ALAN, elementos indispensables para para lograr mejores resultados y contribuir al logro de las metas propuestas en la ENCA 2023. Asimismo, la modernización de las instalaciones de iluminación y alumbrado público que interactúan con ecosistemas estratégicos son necesarias para mitigar los impactos de ALAN en el humedal. En este sentido, Colombia dio un paso importante con la actualización del RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2024), ya que, además de la innovación tecnológica, la nueva resolución contempla límites para la iluminancia en algunas de las zonas presentes en parques y áreas naturales, convirtiéndose en un referente significativo para considerar este impacto al planificar infraestructura de iluminación en zonas de reserva.

Por último, la necesidad de considerar mecanismos de compensación asociados al impacto de ALAN (Castillo Carrasco y Chamba Flores, 2021) es otra de las medidas de manejo necesarias para promover la restauración ecológica de los ecosistemas afectados por este fenómeno, en los casos donde no sea posible implementar medidas de prevención o mitigación. De ahí la

importancia de promover y profundizar la investigación sobre los efectos de ALAN en los ecosistemas de nuestro país, ya que de esta forma se podrá obtener más información de valor que permita a las autoridades ambientales y otras entidades territoriales tomar decisiones informadas para formular instrumentos y mecanismos que promuevan la conservación de los ecosistemas, coordinando esfuerzos con los gremios para lograr mejores resultados en la protección de los determinantes ambientales en los territorios.

6 CONCLUSIONES

A través de esta investigación, se diagnosticó el impacto que genera la iluminación artificial nocturna en el ensamble de aves nocturnas de la Reserva Distrital de Humedal “Santa María del Lago”. Para ello, se aplicaron diferentes técnicas de revisión y análisis de información documental, se obtuvieron mediciones de en sitio de la riqueza y de la iluminancia presentes en el humedal, y se compararon estos resultados con los resultados con referentes normativos y científicos. Posteriormente, se analizó la correlación entre estas variables para así poder proponer acciones y medidas de manejo encaminadas a la gestión de este impacto.

6.1 Cambios en las dinámicas de nicho de la avifauna nocturna de la RDH “Santa María del Lago”

Se validó la riqueza de aves nocturnas presentes en el RDH “Santa María del Lago”. Para ello, se consideraron los registros existentes en las bases de datos de biodiversidad consultadas, las cuales se reportaba una riqueza de 7 especies presentes en el humedal. De estas especies, 4 coincidieron con las declaraciones durante las entrevistas con los funcionarios de la SDA, 1 fue reportada en los informes oficiales de línea base y monitoreos realizados por la SDA y se obtuvieron 2 registros vocales de la especie *Megascops choliba* durante las jornadas de censo realizadas en campo. Las diferencias en el valor de la riqueza reportada entre las fuentes pueden ser conciliadas con nuevas investigaciones y estudios de la composición y estructura de la avifauna nocturna del humedal.

Se validaron los niveles de iluminancia medidos en la RDH “Santa María del Lago” mediante luxometrías. Se obtuvo un valor promedio es de 10.55 lx, lo cual es superiores a los niveles citados en la literatura científica consultada en este estudio. Esta literatura indica que valores superiores a 0.01 lx afectan negativamente las dinámicas de depredación de algunas especies pertenecientes a la familia Strigidae. Por lo tanto, es necesario investigar más a fondo los efectos negativos asociados a estos niveles de iluminancia que podrían estar sucediendo en el humedal actualmente.

Los cambios en la ecología de las especies evaluadas en la Reserva Distrital de Humedal (RDH) "Santa María del Lago" se describieron mediante censos de avifauna nocturna. Estos censos revelaron que algunas especies de hábitos diurnos, como *Oxyura ferrugínea* y *Turdus fuscaster*, presentan actividad vocal durante la noche. Además, se identificó a la especie *Megascops choliba* con comportamiento vocal dentro de las coberturas acuáticas del humedal. Estos hallazgos deben investigarse en mayor detalle para determinar si estos cambios de comportamiento se deben a la exposición a la ALAN o a otros factores, como el ruido proveniente del entorno urbano colindante a la reserva.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las revisiones de información secundaria y las actividades en campo, no fue posible determinar la vulnerabilidad de las especies de aves nocturnas a la exposición de ALAN en la RDH "Santa María del Lago". Por lo tanto, es indispensable promover nuevas investigaciones que permitan evaluar como los impactos de ALAN afectan puntualmente a cada grupo de avifauna nocturna, y así poder determinar cuáles serían las especies más sensibles este impacto ambiental.

6.2 Análisis de correlación entre las variables cobertura terrestre y riqueza de aves nocturnas

La correlación entre las variables analizadas en el estudio se estimó mediante la prueba estadística Chi-cuadrado. Se determinó que no existe relación estadísticamente significativa entre la riqueza y las coberturas terrestres presentes en el humedal. Sin embargo, un análisis de regresión multivariado binario reveló la relación entre las coberturas terrestres y los niveles de iluminancia medidos presentes en el humedal. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios complementarios sobre la composición y estructura de la avifauna nocturna del humedal para poder analizar más a fondo su relación con los niveles de iluminancia a los que están expuestos al interior del humedal.

6.3 Estrategias de gestión ambiental para el manejo de los impactos de ALAN sobre la avifauna de la RDH “Santa María del Lago”

Con base en los referentes científicos e instrumentos de Política Pública Como La Política Nacional de Humedales Interiores y la Estrategia Nacional de Conservación de la Biodiversidad (ENCA), se consolidaron y analizaron 12 estrategias (medidas de manejo) para gestionar los efectos derivados del impacto de ALAN sobre la avifauna nocturna de la RDH “Santa María del lago”. Las medidas de prevención como la formulación de instrumentos de política pública y ordenamiento territorial y compensación son las más apropiadas para gestionar los impactos de ALAN sobre el humedal. Sin embargo, las medidas de mitigación, como las mejoras y la automatización de las instalaciones de iluminación y alumbrado público, son muy importantes para mejorar las condiciones actuales de los ecosistemas estratégicos presentes en las áreas urbanas del país. Por ello, es necesario recopilar más información sobre los impactos de ALAN a través de nuevos trabajos de investigación.

REFERENCIAS

- Alaasam, V. J., Liu, X., Niu, Y., Habibian, J. S., Pieraut, S., Ferguson, B. S., Zhang, Y., & Ouyang, J. Q. (2021). Effects of dim artificial light at night on locomotor activity, cardiovascular physiology, and circadian clock genes in a diurnal songbird. *Environmental Pollution*. 282, 117036. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117036>
- Benites, J. (2021). Las comunidades de aves terrestres como indicadoras de impactos en bosques de *Nothofagus antartica* de Tierra del Fuego. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de la Plata.
- Benítez García, L. M. (2016). Eficacia de la reglamentación para la prevención y disminución de la contaminación lumínica en Colombia, en el periodo 2010 – 2016 [trabajo de grado]. Universidad Libre de Colombia, Centro de Investigaciones Socio Jurídicas.
- Bird, S., Parker J. (2014). Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. *Journal of Insect Conservation*. 18(4). 7.
- Burt, C. S. Kelly, J. F. Trankina, G. E. Silva, C. L. Khalighifar, A. Jenkins-Smith, H. C. Fox, A. S. Fristrup, K. M. Y Horton, K. G. (2022). The effects of light pollution on migratory animal behavior. *Trends Ecol Evol*. 38(4). Pp 355-368. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.12.006>
- Camargo Martínez, P. A., & Rodríguez Villamil, D. R. (2021). Anidación del búho campestre (*Asio flammeus bogotensis*) en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Ornitología Colombiana*, (17). Pp 1–11. <https://doi.org/10.59517/oc.e379>
- Castillo Carrasco, A. Chamba Flores, Y (2021). Impacto de la contaminación lumínica en la diversidad de aves. *Innova Biology Sciences*, 1(2). Pp. 33 – 49. <https://doi.org/10.58720/ibs.v1i2.16>
- Chaparro Herrera, S., Córdoba Córdoba, S., López Ordoñez, J. P., Restrepo Cardona, J. S., y Cortes-Herrera, O. (2015). Los búhos de Colombia. En Enríquez, P. L. (Ed.). Los búhos neotropicales: diversidad y conservación. (pp. 277- 329). El Colegio de la Frontera Sur.
- Chaparro Herrera, S., Enríquez, P. L., y Lopera Salazar, A. (2021). Búhos de Colombia. Guía Ilustrada. Colombia Ilustrada.

- Cross, S. L., Cross, A. T., Tomlinson, S. Clark-Ioannou, S. M., Nevill, P. G. y Bateman, P. W. (2021). Mitigation and management plans should consider all anthropogenic disturbances to fauna. *Global Ecology and Conservation*, (26), e01500. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01500>.
- Decreto 555 de 2021 [Alcaldía Mayor de Bogotá]. Por el cual se adopta la revisión del Plan de Ordenamiento de Bogotá DC. 29 de diciembre de 2021
- eBird. 2021. eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. <http://www.ebird.org>.
- Echeverry Galvis, M.A., Acevedo Charry, O. Avendaño, J. E. Gómez, C. Stiles, F.G. Estela, F.A. y Cuervo, A.M. (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*. 22. Pp 25-51.
- Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., Martinsons, C. y Hicks, D. (2020). Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Front. Neurosci.* (14). Pp. 1-39. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>
- Frohlich, A., Ciach, M. (2019). Nocturnal noise and habitat homogeneity species richness of owls in an urban environment. *Environmental Science and Pollution Research* . 26.. 8p. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05063-8>
- García Gil, M., Baixeras Almela, J., Morales Rubio, A., Sánchez de Miguel, A. (2018). Consideraciones Sobre los Efectos de la Luz en el Ecosistema Nocturno. Comité Español de Iluminación (Ed.) Posibles riesgos de la iluminación LED. Conclusiones del grupo de trabajo comité Español de Iluminación. (pp. 81-103). MIC.
- Gaston, K. J. J. Bennie, T. W. Davies y J. Hopkins (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 88(4). Pp 912-927.
- Giannetto, C. F. Fazio, I. Vazzana, M. Panzera y G. Piccione (2011). Comparison of cortisol and rectal temperature circadian rhythms in horses: the role of light/dark cycle and constant darkness. *Biological Rhythm Research.* 43(6). Pp 681- 687.
- González Madrigal, J. Solano Lamphar, H. Ramírez, M (2020). La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas. *Revista Latinoamericana de*

Estudios Urbano Regionales. 46(138). Pp. 155 – 174. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612020000200155>

ICONTEC. (2011). *Norma Técnica Colombiana NTC 900: Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público* (Cuarta actualización). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

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.

International Organization for Standardization. (2019). Risk management — Risk assessment techniques (IEC 31010:2019). <https://www.iso.org/standard/72140.html>

Kempenaers, B. Borgström, P. Loës, P. Schlicht, E. y Valcu, M. (2010). Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. *Current Biology* 20(19). Pp 1735-1739.

Korner, P. von Maravic, I. Y Haupt, H. (2022). Birds and the ‘Post Tower’ in Bonn: a case study of light pollution. *J Ornithol*. 163. Pp 827–841. <https://doi.org/10.1007/s10336-022-01985-2>.

Mander, S. Fakhrul, A. Ruggerio, L. Ooi, L. (2023). How to measure light pollution – A Systematic review of methods and applications. *Sustainable Cities and Society*. 92. 104465. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104465>

Marín Gómez, O. H. García Arroyo, M. Sánchez Sarria, C. E. Sosa López, J. R. Santiago Alarcón, D. MacGregor Fors, I. (2020). Nightlife in the city: drivers of the occurrence and vocal activity of a tropical owl. *Avian Research*. 11(9). Pp 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40657-020-00197-7>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2002). Política nacional para humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá. 67 pp. Bogotá: MMA.

- Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- Molina M. y Bohórquez K. (2013). Diversidad de aves: potencial indicador de sostenibilidad ecológica en agroecosistemas del sur del Lago de Maracaibo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 47(3). Pp 259 – 279.
- Moreno Salazar, N. Camargo Martínez, P. A. Ochoa, D. (2019). *Aves de Bogotá – Guía de Aviturismo. Bogota Birdwatching Guide*. Instituto Distrital de Turismo de Bogotá.
- Moreno Salazar, N. Maldonado, O. Falk, P. Carantón, D. Baptiste, M. P. y Fierro, K. Bonilla, N. Tusso, H. A. (2022). Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves de Colombia (ENCA) 2030. Puntoaparte editores.
- Negro, J. J. (2016). Mejor en el lado oscuro: efectos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad y la salud humana. *Chronica naturae*. (6). Pp 6 – 12.
- Resolución 180540 de 2010. [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. 30 de marzo de 2010.
- Resolución 40150 de 2024. [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP. 3 de mayo de 2024.
- Rueda Punina, J. V. (2022). La problemática de la contaminación lumínica: una revisión. *FIGEMPA*. 14(2). Pp 111 – 123. <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3733>
- Sanders, D. Hirt, M. R. Brose, U. Evans, D. M. Gaston, K. J. Gauzens, B. y Ryser, R. (2023). How artificial light at night may rewire ecological networks: concepts and models. *Phil. Trans. R. Soc.* 378(1892). <http://doi.org/10.1098/rstb.2022.0368>
- Scobie, C., Bayne, E., y Wellicome, T. (2014). Influence of anthropogenic features and traffic disturbance on a burrowing owl diurnal roosting behavior. *Endang Species Res.* 24(1). Pp73-83. <https://doi.org/10.3354/esr00577>

- Secretaría Distrital de Ambiente SDA (2023). Inventario de la Biodiversidad de la Reserva Distrital de Humedal “Santa María del Lago”. Grupo de Monitoreo de Biodiversidad, Subdirección de Ecosistemas, Bogotá D.C. 9 p.
- Secretaría Distrital de Ambiente SDA. (2019a). Informe Anexo Al Documento: Resultados De La Implementación I 2019 – Programa De Monitoreo Del Estado De La Biodiversidad En Los Parques Ecológicos Distritales De Bogotá. Grupo de Monitoreo de Biodiversidad, Subdirección de Ecosistemas. Septiembre 2019. 3 p.
- Secretaría Distrital de Ambiente SDA. (2019b). Informe Anexo Al Documento: Resultados De La Implementación I 2019 – Programa De Monitoreo Del Estado De La Biodiversidad En Los Parques Ecológicos Distritales De Bogotá. Grupo de Monitoreo de Biodiversidad, Subdirección de Ecosistemas. Diciembre 2019. 5 p.
- Secretaría Distrital de Ambiente SDA. (2022). Informe anual levantamiento de línea base de la biodiversidad de la Reserva Ecológica Distrital Santa María del Lago. Grupo de Monitoreo de la Biodiversidad, Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad, Dirección de Gestión Ambiental, Bogotá D.C. 132 p.
- Silva, R. Medrano Martínez, F. Tajada, I. Terán, D. Peredo, R. Barros Rodríguez, R. J. Colodro, V. González, P., González, V. Guerra Correa, C. Hodum, P. J. Keitt, B. Luna Jorquera, G. Malinarich, V. Maella, G., Manríquez, P. Nevins, H. Olmedo, B. Páez, J. de Rodt, G. Rojas, F. Sanhueza, P., Suazo G. C. Toro, F. Toro Barros, B. (2020). Evaluación del impacto de la contaminación lumínica sobre las aves marinas de Chile: Diagnostico y propuestas. *Ornitología Neotropical*. 31(1). Pp 13-24. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v31i1.575>
- Solano Lamphar, H. A. San Martín Páramo, R. García Gil, M (2009). Estudio Sobre Contaminación Lumínica en el Parque Natural del Delta del Ebro. *Cienc. Trab.* 11(34). Pp 211-216.
- Souto Días, J. P. Machado Teixeira, F. (2022). Diversidade de aves noturnas e dados de influência das fases lunar, nas matas da bacia do Rio Vacacaí, no Papa Brasileiro. Vol. 3 No. 2 (2022): *Studies in Environmental and Animal Sciences*. 3(2). Pp 276–291. <https://doi.org/10.54020/seasv3n2-009>

- Ursino, C. Rebolo Ifran, N. Gorleri, F. (2022). Impactos de la contaminación lumínica con especial foco en la Argentina. *El Hornero*. 37 (2). Pp 33-46. <https://doi.org/10.56178/eh.v37i2.393>.
- Zuberogoitia, I. Laso, M. Egunez A. Azkona, A, de Juan, S. Gonzalez de Buitrago, C. Belamendia, G. de Siria Apaolaza, R. Gracianteparaluceta, A. Aguirre, I. Fuente, N. Gómez, J. López, E. López de Armentia, A. López de Luzuriaga, J. Malo, D. Manzano, J. Martínez, I. Ocariz, J. I. Prats, S. Santos, R. Webster, B. (2018). *Censo de aves nocturnas de Euskadi*. Munibe, *Cienc. Nat.* (68). Pp 7 – 28. <https://doi.org/10.21630/mcn.2020.68.03>
- Zuberogoitia, I. y Campos, F. L. (1998). Censusing owls in large areas: A Comparison between methods. *Ardeola*. 45 (1). Pp 47 – 53.

ANEXOS

ANEXO 1.

INSTRUMENTO PARA LA VALIDACIÓN DE REFERENTES LEGALES, TÉCNICOS, NORMATIVOS Y CIENTÍFICOS DE NIVELES DE ILUMINANCIA PARA CRITERIOS ECOLÓGICOS.

Tabla 20.

Comparación de Iluminancia Medida con Requisitos Legales, Normativos y Científicos en Diferentes Categorías Ecológicas y Taxonómicas

Criterio ecológico	Tipo o categoría	Iluminancia medida (lx)	Requisito Legal	Iluminancia Requisito Legal (lx)	Requisito Normativa	Iluminancia de Normativa (lx)	Referente Científico	Iluminancia del referente científico (lx)
Ecosistema o área natural	Ecosistemas terrestres	3,76	NO	NA	NO	NA	NR	NA
	Mezcla de árboles plantados	1,9	NO	NA	NO	NA	NR	NA
Cobertura de la tierra	Vegetación Secundaria baja plantada	3,6	NO	NA	NO	NA	NR	NA
	Senderos AP	0,47	Resolución 40150 de 2024	11	NO	NA	NR	NA
	Área administrativa	33,2	NO	NA	NO	NA	NR	NA
	Pastos Limpios	0,16	NO	NA	NO	NA	NR	NA
	Pastos Enmalezados	0,1	NO	NA	NO	NA	NR	NA
Familia o grupo taxonómico de aves	Strigiformes	1,25	NO	NA	NO	NA	Gil et al. 2018	0,01

Nota: Esta tabla evalúa la iluminancia (en lux) en varios ecosistemas, coberturas de tierra y un grupo taxonómico de aves. No se encontraron requisitos legales ni normativos específicos para la mayoría de los entornos, excepto para las aves Strigiformes, donde se menciona un referente científico (García Gil *et al.*, 2018) con un valor de 0,01 lux. **NA:** No Aplica; **NR:** No existe referencia.

ANEXO 2.

INSTRUMENTO PARA LA VALIDACIÓN DE RIQUEZA DE ESPECIES DE AVES NOCTURNAS PRESENTES EN LA RDH "SANTA MARÍA DEL LAGO".

Tabla 21.

Registros de Campo de Especies de Aves Nocturnas por Fecha y Tipo de Observación.

Orden	Familia	Especie	REGISTROS EN CAMPO									
			2/06/24	Tipo	21/06/23	Tipo	22/06/23	Tipo	7/10/23	Tipo	24/04/24	Tipo
Strigiformes	Strigidae	<i>Asio clamator</i>	x	Entrevista								
		<i>Megascops choliba</i>	x	Entrevista	x	Grabación			x	Grabación		
		<i>Asio stygius</i>	x	Entrevista								
		<i>Systellura longirostris</i>	x	Entrevista								

Nota: la tabla presenta el tipo y la fecha de registro de las 4 especies presentes en el muestreo. Existen 4 registros por parte de los funcionarios y 2 registros en fechas diferentes de la especie *Megascops choliba*.

ANEXO 3.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE ILUMINANCIA EN LAS COBERTURAS PRESENTES DEL RDH "SANTA MARÍA DEL LAGO".

Tabla 22.

Parámetros Estadísticos de Iluminancia por Tipo de Cobertura.

Parámetros	Coberturas					
	PMZ	PL	SEN	PE	VSB	ADMI
Media	2,172	1,767	2,42	2,775	2,708	133,95
Mediana	1	1,3	1,6	0,65	1,4	56,8
S	2,9785	1,747	3,168	4,633	2,28	122,995
CV	1,3713	0,9886	1,3090	1,6695	0,8419	0,9182

Nota: La tabla presenta estadísticas descriptivas (media, mediana, desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV)) de la iluminancia medida en distintas coberturas. Las siglas corresponden a: PMZ (Mezcla de árboles plantados), PL (Pastos Limpios), SEN (Senderos AP - Áreas Protegidas), PE (Pastos Enmalezados), VSB (Vegetación Secundaria baja plantada) y ADMI (Área administrativa, otras).

0,8	0,0057971	-0,17393612	0,43095783	0,425160731	0,425160731
0,8	0,0057971	-0,17393612	0,43095783	0,425160731	0,425160731
0,9	0,00652174	-0,17079552	0,43219228	0,425670539	0,426395176
0,9	0,00652174	-0,17079552	0,43219228	0,425670539	0,425670539
0,9	0,00652174	-0,17079552	0,43219228	0,425670539	0,425670539
0,9	0,00652174	-0,17079552	0,43219228	0,425670539	0,425670539
0,9	0,00652174	-0,17079552	0,43219228	0,425670539	0,425670539
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426905646
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426181008
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426181008
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426181008
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426181008
1	0,00724638	-0,16765491	0,43342739	0,426181008	0,426181008
1,1	0,00797101	-0,16451431	0,43466314	0,426692129	0,427416766
1,1	0,00797101	-0,16451431	0,43466314	0,426692129	0,426692129
1,1	0,00797101	-0,16451431	0,43466314	0,426692129	0,426692129
1,1	0,00797101	-0,16451431	0,43466314	0,426692129	0,426692129
1,2	0,00869565	-0,1613737	0,43589954	0,427203887	0,427928525
1,2	0,00869565	-0,1613737	0,43589954	0,427203887	0,427203887
1,3	0,00942029	-0,1582331	0,43713656	0,427716273	0,428440911
1,4	0,01014493	-0,15509249	0,4383742	0,428229273	0,428953911
1,4	0,01014493	-0,15509249	0,4383742	0,428229273	0,428229273
1,4	0,01014493	-0,15509249	0,4383742	0,428229273	0,428229273
1,4	0,01014493	-0,15509249	0,4383742	0,428229273	0,428229273
1,5	0,01086957	-0,15195189	0,43961244	0,428742877	0,429467515
1,6	0,0115942	-0,14881128	0,44085127	0,429257071	0,429981709
1,6	0,0115942	-0,14881128	0,44085127	0,429257071	0,429257071
1,7	0,01231884	-0,14567068	0,44209069	0,429771845	0,430496483
1,7	0,01231884	-0,14567068	0,44209069	0,429771845	0,429771845
1,7	0,01231884	-0,14567068	0,44209069	0,429771845	0,429771845
1,7	0,01231884	-0,14567068	0,44209069	0,429771845	0,429771845
1,9	0,01376812	-0,13938947	0,44457112	0,430803082	0,432252357
2	0,01449275	-0,13624886	0,44581227	0,431319521	0,432044159
2,1	0,01521739	-0,13310826	0,44705388	0,431836491	0,432561129
2,1	0,01521739	-0,13310826	0,44705388	0,431836491	0,431836491
2,1	0,01521739	-0,13310826	0,44705388	0,431836491	0,431836491
2,3	0,01666667	-0,12682705	0,44953864	0,432871977	0,434321253
2,5	0,01811594	-0,12054584	0,45202539	0,433909444	0,435358719
2,6	0,01884058	-0,11740523	0,45326947	0,434428889	0,435153527
2,8	0,02028986	-0,11112402	0,455759	0,435469145	0,43691842
3	0,02173913	-0,10484281	0,45825027	0,436511138	0,437960414
3	0,02173913	-0,10484281	0,45825027	0,436511138	0,436511138
3	0,02173913	-0,10484281	0,45825027	0,436511138	0,436511138
3	0,02173913	-0,10484281	0,45825027	0,436511138	0,436511138
3,1	0,02246377	-0,10170221	0,45949652	0,437032757	0,437757394
3,1	0,02246377	-0,10170221	0,45949652	0,437032757	0,437032757
3,1	0,02246377	-0,10170221	0,45949652	0,437032757	0,437032757
3,2	0,02318841	-0,0985616	0,46074318	0,437554773	0,438279411
3,4	0,02463768	-0,09228039	0,46323763	0,438599952	0,440049227
3,5	0,02536232	-0,08913979	0,46448541	0,43912309	0,439847727
3,5	0,02536232	-0,08913979	0,46448541	0,43912309	0,43912309
3,6	0,02608696	-0,08599918	0,46573353	0,439646577	0,440371214
3,7	0,02681159	-0,08285858	0,466982	0,440170401	0,440895039
3,7	0,02681159	-0,08285858	0,466982	0,440170401	0,440170401
3,8	0,02753623	-0,07971797	0,46823078	0,44069455	0,441419188
4,1	0,02971014	-0,07029616	0,47197897	0,442268825	0,444442738
4,18	0,03028986	-0,06778368	0,47297892	0,442689065	0,443268775
4,2	0,03043478	-0,06715555	0,47322893	0,442794151	0,442939079
4,2	0,03043478	-0,06715555	0,47322893	0,442794151	0,442794151
4,5	0,0326087	-0,05773374	0,47698036	0,444371663	0,446545577
4,8	0,03478261	-0,04831192	0,48073383	0,445951217	0,44812513
4,9	0,03550725	-0,04517132	0,48198538	0,446478131	0,447202768
4,9	0,03550725	-0,04517132	0,48198538	0,446478131	0,446478131
5,6	0,04057971	-0,02318709	0,49075052	0,45017081	0,455243274
5,7	0,04130435	-0,02004648	0,49200315	0,450698799	0,451423437

5,9	0,04275362	-0,01376527	0,49450862	0,451755002	0,453204277
6	0,04347826	-0,01062467	0,49576145	0,45228319	0,453007828
6,2	0,04492754	-0,00434346	0,49826722	0,453339681	0,454788956
6,3	0,04565217	-0,00120285	0,49952013	0,453867958	0,454592595
6,4	0,04637681	0,00193775	0,50077305	0,45439624	0,455120877
7,6	0,05507246	0,03962501	0,51580396	0,460731493	0,469427145
8,2	0,05942029	0,05846864	0,52331233	0,46389204	0,468239866
9,4	0,06811594	0,0961559	0,53830162	0,47018568	0,478881332
10	0,07246377	0,11499953	0,54577725	0,473313484	0,47766131
10,3	0,07463768	0,12442134	0,54950916	0,474871481	0,477045394
11,4	0,0826087	0,158968	0,56315296	0,480544261	0,488515275
16,6	0,12028986	0,32227945	0,6263795	0,506089645	0,543770805
26,8	0,1942029	0,64262115	0,73976502	0,545562123	0,619475167
40,8	0,29565217	1,08230583	0,86044167	0,564789498	0,666238774
258	1,86956522	7,90369963	1	0,869565217	0,704347826
272	1,97101449	8,34338432	1	0,971014493	0,869565217

Nota: La tabla presenta los valores calculados para la prueba de Kolmogorov-Smirnov, mostrando las observaciones (x_i), las probabilidades empíricas (P_i), los valores transformados (Z_i), las probabilidades acumuladas teóricas ($P(Z_i)$), y las diferencias entre las probabilidades teóricas y empíricas ($P(Z_i)-P_i$ y $P(Z_i)-P_i$).

ANEXO 5.

MEDIDAS DE ILUMINANCIA POR TRAMO DE LA RED.

Tabla 24.

Valores Registrados por Tramos y Unidades de Control (UCS) en Diferentes Intervalos.

Tramos/UCS	UCS1	UCS2	UCS3	UCS4	UCS5	UCS6	UCS7	UCS8	UCS9	UCS10
L24-L25	4,8	8,2	1,8	3,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
L23-L24	7,6	1,6	0,8	3,6	1,2	0,3	3,4	10	10,6	11,4
L22-L23	0,6	8,1	5,2	1,2	1,9	0,6	3,1	2,6	6	11,4
L21-22	18	16,6	3	2,5	2,9	3	4,9	3,7	0,5	1,3
L20-L21	8,4	4,4	1,2	0,3	0,2	1,2	0,3	0,6	2,3	5,7
L19-L20	3,2	0,6	0,1	0,2	0,1	0,3	1	4,1	6	10,3
L18-L19	2,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
L17-L18	11,5	6	3	2,4	1,1	0,2	0,5	1,4	1,9	2,3
L16-L17	10	9,4	3,7	4,18	1,5	0,2	0,2	2,4	4	9,7
AA-L16	3	3,6	3,8	1,8	4	3,5	2,4	3,2	6,4	10
AA	40,8	56,8	26,8	16,8	24,8					
L1-L2	0,2	0,2	1,7	1,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2
L2-L3	0,5	2,2	2,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	11,7
L3-L4	15,3	0,2	0,2	0,1	0,8	0,6	1	4,9	5,6	5,9
L4-L5	6,2	3	0,5	0,6	1,7	0,3	0,4	0,1	0	0,1
L5-L6	0	0,5	3,6	2,1	1,8	0,6	0,3	0,3	0	3,5
L6-L7	5,4	1,7	1,6	1,8	3,3	3,2	2,1	2,6	0,6	2
L7-L8	1,6	0,9	1,7	0,9	1,4	2,8	4,2	7,1	7,7	7,6
L8-L9	7,5	5,4	3,1	1,6	1,2	1	2,6	2	1,9	1,4
L9-L10	1,6	1,1	3,3	0,9	0,6	0,7	0,6	0,3	1,1	0,2
L10-L11	5,2	1,3	0,6	0,7	0,2	0,3	0,9	0,5	1,2	2,8
L11-L12	2,8	4,1	4,5	1,5	1,7	6,5	6,3	3,4	4,2	3,7
L12-L13	3	3,1	0,6	1	1,4	1,4	1,1	0,9	0,8	0,9
L13-L14	2,1	4,1	0,6	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	3,8
L15-L16	0,2	0,2	1,2	1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
L16-L26	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2
L26 - L27	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,7	0,6	0,8	1,2
L27-L28	1	1,6	1	0,5	1,7	0,8	0,6	0,5	4,4	1,6
L28-L29	1	0,7	2,5	0,6	1,6	1,2	11,4	4,2	1,1	1
AA2	255	258	229	290	272	3,4				

Nota: La tabla presenta medidas de iluminancia en lux (lx) por tramo específico de la red, detallando los valores registrados en cada período (P1 a P10) para diferentes secciones (L1-L2 hasta AA2).

ANEXO 6.

EVALUACIÓN DE ILUMINANCIA Y RESULTADOS.

Tabla 25.

Evaluación de Iluminancia por Tramos y Unidades de Control: Promedio, Máximo, Mínimo y Relación Umin/Uprom.

Tramos/UCS	Uprom	Umax	Umin	CU(Umin/Uprom)	Resultado
L24-L25	2,04	8,2	0,3	0,15	Afectación negativa
L23-L24	5,05	11,4	0,3	0,06	Afectación negativa
L22-L23	4,07	11,4	0,6	0,15	Afectación negativa
L21-22	5,64	18	0,5	0,09	Afectación negativa
L20-L21	2,46	8,4	0,2	0,08	Afectación negativa
L19-L20	2,59	10,3	0,1	0,04	Afectación negativa
L18-L19	0,47	2,3	0,1	0,21	Afectación negativa
L17-L18	3,03	11,5	0,2	0,07	Afectación negativa
L16-L17	5,756	10	1,5	0,26	Afectación negativa
AA-L16	3,24	4	1,8	0,56	Afectación negativa
AA	33,2	56,8	16,8	0,51	Afectación negativa
L1-L2	0,44	1,7	0,1	0,23	Afectación negativa
L2-L3	1,78	11,7	0,1	0,06	Afectación negativa
L3-L4	3,46	15,3	0,1	0,03	Afectación negativa
L4-L5	1,29	6,2	0	0,00	Afectación negativa
L5-L6	1,27	3,6	0	0,00	Afectación negativa
L6-L7	2,43	5,4	0,6	0,25	Afectación negativa
L7-L8	3,59	7,7	0,9	0,25	Afectación negativa
L8-L9	2,77	7,5	1	0,36	Afectación negativa
L9-L10	1,04	3,3	0,2	0,19	Afectación negativa
L10-L11	1,37	5,2	0,2	0,15	Afectación negativa
L11-L12	3,87	6,5	1,5	0,39	Afectación negativa
L12-L13	1,42	3,1	0,6	0,42	Afectación negativa
L13-L14	1,34	4,1	0,3	0,22	Afectación negativa
L15-L16	0,34	1,2	0,1	0,29	Afectación negativa
L16-L26	0,3	0,7	0,1	0,33	Afectación negativa
L26 - L27	0,45	1,2	0,1	0,22	Afectación negativa
L27-L28	1,37	4,4	0,5	0,36	Afectación negativa
L28-L29	2,53	11,4	0,6	0,24	Afectación negativa
AA2	217,9	290	3,4	0,02	Afectación negativa

Nota: La tabla muestra los resultados de la evaluación de iluminancia en las UCS, incluyendo los valores promedio (Uprom), máximo (Umax), mínimo (Umin), y el coeficiente de uniformidad (CU) y el resultado de la evaluación.